

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**  
Факультет електроніки  
Кафедра промислової електроніки

«На правах рукопису»  
УДК 82-1/-9

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис) Ю. С. Ямненко  
(ініціали, прізвище)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## Магістерська дисертація

зі спеціальності (спеціалізації) 171 «Електроніка»  
(код і назва спеціальності)

на тему: «Керування мікрокліматом приміщень з використанням фазі-логіки»

Виконав студент 2 курсу, групи ДС-61м

\_\_\_\_\_  
Зінченко Євген Олексійович  
(прізвище, ім'я, по батькові) \_\_\_\_\_ (підпис)

Науковий керівник завідувач кафедри ПЕ д.т.н., проф. Ямненко Ю. С.  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) \_\_\_\_\_ (підпис)

Консультант \_\_\_\_\_  
(назва розділу) \_\_\_\_\_ (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) \_\_\_\_\_ (підпис)

Консультант \_\_\_\_\_  
(назва розділу) \_\_\_\_\_ (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) \_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент Доцент кафедри електронних приладів та пристроїв к.т.н., доц. Михайлов С.Р.  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) \_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що в цій магістерській  
дисертації немає запозичень із праць  
інших авторів без відповідних посилань.  
Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2018 рік

**АНОТАЦІЯ**

Метою дипломної роботи є побудова системи керування мікрокліматом приміщень на базі нечіткої логіки. Розглянуто теоретичні аспекти систем керування. Проаналізовано особливості роботи різних систем керування. Створено нову систему керування на базі фазі-логіки. Обрано вхідні лінгвістичні змінні, побудовано таблицю правил. Вихідна лінгвістична змінна - це сигнал керування виконавчим механізмом. Створено тестовий макет та програмне забезпечення. Підготовлено стартап пропозицію за темою роботи.

Ключові слова: нечітка логіка, система керування, мікроклімат приміщень, кондиціонування, температура, вологість.

## ANNOTATION

The purpose of the thesis is to build a system of indoor microclimate control based on fuzzy logic. The theoretical aspects of control systems are considered. The peculiarities of operation of different control systems are analyzed. A new fuzzy control algorithm is created. Incoming linguistic variables are selected, a rule table is built. The output linguistic variable is a control signal to the executive mechanisms. A test layout and software have been created. A startup proposition was formulated on the topic of work.

Keywords: fuzzy logic, control system, indoor microclimate control, air conditioning, temperature, humidity.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b>	4
<b>РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД СИСТЕМ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ</b>	8
1.1. Історія розвитку напрямків контролю мікрокліматом приміщень	8
1.2. Основні типи нагрівачів та охолоджувачів	11
1.3. Типи систем керування та регулювання	17
<b>РОЗДІЛ 2 ЗАСТОСУВАННЯ НЕЧІТКИХ РЕГУЛЯТОРІВ У СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ</b>	20
2.1. Нейрофізіологічні засади фазі-логіки	20
2.2. Основні положення теорії нечіткої логіки	28
2.3. Особливості застосування нечіткої логіки для керування мікрокліматом	34
<b>РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ЗАСАД ФАЗІ-ЛОГІКИ</b>	39
3.1. Опис логіки системи керування	39
3.2. Розробка алгоритму роботи нечіткого регулятора	42
3.3. Оцінка ефективності роботи та порівняння з традиційними регуляторами	48
<b>РОЗДІЛ 4 СТВОРЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ</b>	51
4.1. Принципи розробки програмного забезпечення нечіткої системи керування	51
4.2. Блок-схема алгоритму програмного забезпечення	63
4.3. Реалізація в програмному середовищі CubeMX для Keil	65
<b>РОЗДІЛ 5 ПІДГОТОВКА СТАРТАП ПРОПОЗИЦІЇ</b>	72
<b>ВИСНОВКИ</b>	89
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b>	91

## ВСТУП

**Актуальність теми.** На сучасному етапі розвитку електронних систем та комплексів все більше уваги приділяється підвищенню ступеня інтелектуалізації керування, а також врахуванню умов існування людини та впровадження особливостей суб'єктивної оцінки процесів та подій у технічних системах.

Питання контролю та регулювання параметрів мікроклімату у побутових та/або промислових приміщеннях, де важливим фактором є комфортність людини за умови її перебуванні у контрольованому приміщенні та участі в процесах керування.

Основними параметрами, що характеризують мікроклімат, є температура повітря та вологість. Метеорологічні умови середовища перебування людини впливають на процес теплообміну, тому чинять значний вплив на її стан здоров'я і діяльність. Відхилення від нормативних параметрів мікроклімату викликає неприємні відчуття, призводить до незадовільного стану роботи, як окремих органів і систем, так і організму в цілому. Якщо несприятливі чинники мікроклімату впливають тривало, це швидко призводить до погіршення самопочуття, підвищеної втомлюваності, зниження працездатності й у результаті до різних захворювань.

Для мінімізації негативного впливу різних метеорологічних чинників створюються різноманітні системи контролю за станом мікроклімату приміщень, як промислових, так і у побуті. У повсякденному житті людина користується десятками одиниць електронного обладнання. Помітне зростання впливу автоматизованих систем на існування людства, розвиток автоматичних та автоматизованих систем досягло неймовірних розмірів. Різні модифікації систем мікроклімату впроваджені в пристроях, що використовуються в метрополітенах, шахтах, на металургійних комбінатах, транспортних механізмах та інших об'єктах. Сучасний рівень науково-

технічного прогресу та розвиток технологій, електроніки зокрема, дозволяє створювати автоматичні системи контролю мікроклімату приміщень. У житловому будівництві почали використовувати системи типу «розумний дім», які повністю регулюють більшість процесів у будівлях, де вони встановлені. Вони дають змогу дистанційно отримувати інформацію та керувати роботою пристроїв опалення, кондиціювання, водопостачання та електронними системами у приміщенні, але є складними, що і уповільнює їх широке застосування. Тому важливим є напрямок розвитку електроніки, що пов'язаний з впровадженням у електронне обладнання програм, здатних моделювати поведінку людини, прогнозувати її дії, розуміти потреби та мати можливість задовольняти їх.

На сьогоднішній день єдиною системою, яка здатна інтерпретувати понятійне розуміння людини в комп'ютерний код, є фазі-логіка. Розробка та впровадження в реальні системи керування електронного та електротехнічного обладнання нечіткої, або фазі-логіки, є одним із шляхів створення системи ефективного штучного інтелекту. Фазі-логіка дає можливість зробити використання електронного обладнання більш ефективним, зменшуючи витрати на експлуатацію в побуті. У розробленому проекті розглядається можливість застосування фазі-логіки для керування мікрокліматом приміщень.

Отже, задача розробки системи керування мікрокліматом приміщень на базі застосування математичного апарату фазі-логіки, є актуальною.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконана у відповідності до напрямків наукових досліджень кафедри промислової електроніки в рамках функціонування наукової школи «Теоретичні основи перетворення параметрів електричної енергії».

**Мета і завдання досліджень.** Метою даної роботи є розробка системи керування мікрокліматом у побутовому приміщенні на базі нечіткої логіки, визначення можливих виконавчих механізмів для регулювання обраних

параметрів мікроклімату, створення схеми системи та програмного забезпечення.

Для досягнення мети в роботі визначено такі **задачі**:

- Аналіз існуючих підходів та схем регуляторів для задачі керування мікрокліматом приміщень;
- Дослідження нейрофізіологічного підґрунтя фазі-логіки та виявлення особливостей застосування математичного апарату фазі-логіки у технічних системах;
- Аналіз теоретичних положень теорії нечіткої логіки з позицій застосування у системі керування мікрокліматом;
- Розробка апаратної та програмної частини системи керування мікрокліматом приміщень;
- Визначення інноваційної привабливості та підготовка стартап-пропозиції за отриманими результатами розробки.

**Об'єктом роботи** є процес керування мікрокліматом приміщень.

**Предметом дослідження** є розробка системи керування мікрокліматом на базі фазі-логіки, її програмна та програмна реалізація.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в наступному.

- Запропоновано застосування математичного апарату фазі-логіки для вирішення задачі розробки системи керування мікрокліматом приміщень, що дозволяє врахувати у технічній системі суб'єктивні фактори сприйняття людиною параметрів оточуючого середовища;
- Проведено оцінку ефективності розробленої системи на підставі проведеного моделювання, що доводить переваги перед існуючими підходами.

**Практичне значення одержаних результатів.**

- Запропонований підхід є перспективним для використання при проектуванні «розумних будинків» та електронних систем, участь у

роботі та використанні яких бере людина, що обумовлює необхідність врахування суб'єктивних факторів та відчуттів.

- Розроблена схема та програмне забезпечення системи нечіткого керування є достатньо простими, мають інтуїтивно зрозумілий користувацький інтерфейс, а отже, є перспективними для практичного використання.

**Структура роботи.** Робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків та список використаних джерел із 70 найменувань.

## РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД СИСТЕМ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ

### 1.1. Історія розвитку напрямків контролю мікрокліматом приміщень

З первісних часів, близько 2,5 мільйонів років до нашої ери, в кам'яному віці перші люди отримали та почали використовувати вогонь у своєму побуті. Вони використовували його в своєму житлі як засіб для зігрівання та приготування їжі, тим самим змінюючи некомфортний для людини мікроклімат своїх печер. Використання вогню дозволяло в певній мірі зменшити вологість у житлі. З цього часу можемо вважати, що людина вперше почала створювати певні засоби контролю та зміни оточуючого середовища, в даному випадку температури та вологості в печері.

В наш час серйозним кроком до створення умовно сучасних систем контролю мікроклімата приміщень стало винайдення в 1902 році в Сполучених Штатах Америки американським винахідником Віллісом Карієром свого засобу контролю вологості в приміщенні – згодом його назвали кондиціонером. Передумовою до створення винаходу стало замовлення однієї з поліграфічних майстерень, в якій друкувалися часописи. В приміщеннях через неякісну вентиляцію та відсутність продуманого опалення відбувалася стрибкоподібна зміна вологості, що на той час було неприпустимим для друку часописів, оскільки фарба, яку використовували в той час псувалася від незначної на перший погляд зміни вологості. В той же час вперше і помітили значну закономірність у пропорційній зміні вологості та температури. Чим вища вологість, тим як правило була нижча температура, при зменшенні вологості та наявності джерел опалення приміщень, в них зростала температура. Це не тільки дозволяло уникнути збитків через псування фарб, але й покращити умови праці робітників поліграфії.



З того 1902 року новий винахід змінювався та розвивався в США, він знайшов застосування не лише в промисловості, але й в повсякденному житті. Кондиціонери хоч і мали певні технічні недоліки, почали широко застосовуватися в тогочасних офісних приміщеннях, домівках. Їхні модифіковані версії встановлювалися в престижних автомобілях того часу. Встановлення цих пристроїв на складах дозволяло зменшити збитки через псування товарів на складах, адже у цей час спостерігається бурхливий розвиток економіки.

А вже в 1961 році було створено перші спліт системи. Спліт-система – (англ. split – «розділяти») це тип кондиціонера побутового або напівпромислового призначення.

На відміну від кондиціонерів моноблокового виконання, кожна спліт-система включає в себе зовнішній блок, що виконує функції компресорно-конденсаторного агрегату, який виноситься з основного приміщення на зовнішню стіну будівлі, і внутрішній блок, який здійснює випаровування (розташовується всередині приміщення в місці, найбільш зручному для людей, що там працюють, із врахуванням оптимального розподілу повітряних потоків). З'єднані обидва блоки електричним кабелем і трубами з міді, які забезпечують вільну циркуляцію фреону. Зовнішній блок також містить вентилятор і повинен бути розташований у місці, де атмосферне повітря зможе охолоджувати його природним шляхом – обдувом. Контроль за температурним режимом як правило здійснюється за допомогою пульта дистанційного управління, який здатний змінювати температурний режим (частоту вмикання / вимикання, вихідну температуру повітря, тощо) за бажанням користувача. Більшість моделей мають режим автоматично увімкнення / вимкнення по заданому таймером часу, змінювати напрямок потоку повітря та інші функції такі як передача показників температури та зміни вологості на автоматичні комп'ютерні станції контролю. Принцип роботи спліт-системи базується на фізичних процесах. Механізм дії будь-якої

спліт-системи опирається на здатність рідин поглинати при випаровуванні тепло і виділяти його в момент конденсації. Газоподібний фреон при низькому тиску надходить у компресор, де він нагрівається під стисненням і направляється в конденсатор, що обдувається холодним атмосферним повітрям. Фреон при цьому конденсується, стає рідиною, виділяючи тепло, від якого нагрівається повітря в кондиціонері. Потім речовина відправляється в терморегулюючий вентиль, де вона остуджується і забирає при цьому тепло з повітря. Далі цикли повторюються спочатку.

Основні переваги спліт-системи полягають у тому, що вона здатна регулювати мікроклімат приміщення, враховуючи вимоги найвимогливіших користувачів. Постійно удосконалюється система зміни параметрів спліт-кондиціонерів, що дозволяє інтуїтивно здійснювати їх коригування без додаткового навчання персоналу. Чи не основною перевагою кондиціонерів типу спліт-система є винесення з приміщення на зовнішню сторону будівлі його самого гучного і громіздкого елементу – зовнішнього блоку. Внутрішній блок не має обмежень за вимогами до місця прикріплення, тому розмістити його можна там, де це буде викликати найменше дискомфорту. Однією з переваг є можливість організувати як охолодження в спеку, так і обігрівання приміщення в зимовий період (при незначних морозах).

Але дані системи мають також певні недоліки:

- велика кількість зовнішніх блоків різних виробників на одному фасаді псує зовнішній вигляд останнього та порушує архітектурні норми;
- вивід дренажних систем з багатьох зовнішніх блоків створює особливо в спекотну погоду штучний «душ», що особливо характерно для висотних будівель;
- для контролю температури та вологості необхідно точно задавати необхідні значення температури та вологості.

Тож маючи відповідні переваги дані системи потребують відповідного доповнення їх систем керування, зважаючи на можливості сучасних обчислювальних компонентів: мікроконтролерів та мікропроцесорів.

## 1.2. Основні типи нагрівачів та охолоджувачів

Наразі можна чітко виділити три основні типи кліматичного обладнання: нагрівачі, охолоджувачі та кондиціонери: нагрівачі поділяються на п'ять основних типів: масляний обігрівач або радіатор, конвектор, тепловентилятор, інфрачервоний обігрівач, інверторний кондиціонер [1]. Основними охолоджувачами є вентилятори, які за рахунок нагнітання повітря створюють ефект охолодження. Окремий тип складають системи охолодження або кондиціонери, які здатні як нагрівати, так і охолоджувати приміщення.

Одним із найпоширеніших нагрівачів є масляний обігрівач або радіатор [2]. Він безшумний та безпечний: не займається, нагрівальні елементи закриті, поверхня нагрівається не більше, ніж до 100 градусів. Під час роботи не пересушує повітря і не спалює кисень. Технічно можливий термін неперервної роботи – до кількох діб поспіль. Радіатор масляного обігрівача зовні схожий на батарею центрального опалення – герметично закрита ребриста ємність. Усередині міститься мінеральне масло. Внизу в корпусі знаходяться ТЕНи (трубчасті електронагрівники). Вони повністю занурені в масло – це збільшує термін служби ТЕНів і безпечність використання. Ці елементи нагріваються самі і передають тепло маслу, після чого воно нагріває корпус. Необхідність прогрівати масло – проміжний теплоносій – робить обігрівач більш інертним, повільним. Це не завжди зручно під час включення, але після виключення обігрівача масло ще довго остигає, продовжуючи віддавати тепло. Корпус зроблений ребристим для збільшення поверхні стикання з повітрям. Чим більша поверхня, і чим швидше рухається уздовж неї повітря – тим ефективніше працює обігрівач, тим більш потужний і стабільний потік

теплого повітря він створює, і тим рівномірніше тепло розподіляється кімнатою. У більшості обігрівачів є плавний регулятор температури, світлова індикація і перемикач режимів роботи з двома або трьома позиціями. Кожній із позицій відповідає своя комбінація включення ТЕНів і своя ступінь потужності. Це допомагає економити електроенергію і є захистом від перегріву. Термостати у більшості обігрівачів вимірюють не температуру повітря, а температуру масла в радіаторі, що є незручним для користувачів. Щоб тепле повітря швидше розповсюдилося, на радіатор надягається спеціальний кожух, відкритий знизу і з отворами зверху. Усередині нього створюється тяга, за принципом комину, і тепле повітря поширюється кімнатою майже вдвічі швидше. Але у такого кожуха є недоліки: обігрівач стає важчим, складніше прибирати пил.

Іншим типом нагрівачів є електроконвектор [3], пристрій, в якому електричний струм нагріває спеціальні елементи. Це може бути спіраль або керамічний нагрівальний елемент. Перший вважається традиційним і використовується давно. Проте з часом спіраль було видозмінено, оскільки у відкритому стані вона не витримувала довгої експлуатації, окислюючись на повітрі. До того ж при її роботі в приміщеннях у великих кількостях спалювався кисень. Другий нагрівальний елемент дорожчий, але термін його експлуатації довший. Також за зовнішніми даними він більш привабливий, тому інколи його не закривають ґратами. Термін служби великий – до 20 років, якщо агрегат виготовлено якісно. Коефіцієнт корисної дії майже 100%, тому що використовувана електрика йде тільки на обігрів без будь-яких втрат. Повітря від роботи сучасних електричних конвекторів не страждає, оскільки вони не виділяють шкідливих речовин і не спалюють кисень. Крім того, ці прилади працюють безшумно, за винятком клацання термостата.

Інертність приладів мінімальна. Нагрівають вони швидко, оскільки в конструкції не потрібно спочатку гріти теплоносії. Після ввімкнення пристрою миттєво починається процес обігріву.

Іншим типом обладнання є тепловентилятор [4]. Цей прилад працює за таким принципом: потік холодного повітря, який створюється вентилятором, надходить до нагрівального елемента, після чого його температура підвищується, і до приміщення надходить вже нагрітий повітряний потік. Стаціонарні моделі тепловентиляторів, як правило, оснащені спеціальним поворотним пристроєм, який дозволяє більш ефективно розподіляти по кімнаті нагріте повітря. Основною перевагою тепловентилятора є те, що він дозволяє швидко прогрівати повітря в приміщенні і створює комфортні умови в окремих зонах кімнати.

Незалежно від розмірів, потужності і способу установки, тепловентилятори складаються з самого вентилятора, корпусу та нагрівального елемента. Виготовляється корпус тепловентиляторів з поєднання металу і ударостійкого пластику. Будь які тепловентилятори обладнують нагрівальні елементи є трубчасті, керамічні або спіральні. Нагрівальний елемент у вигляді спіралі, як правило, створюється з ніхрому – дріт з цього сплаву намотується на негорючу, найчастіше керамічну, підставку. Ніхромовий нагрівальний елемент може бути виконано як у відкритому вигляді (витки дроту в ньому не захищені зовні), так і в закритому вигляді (витки дроту поміщені в скляну колбу). Головною перевагою тепловентилятора з ніхромовим нагрівальним елементом є його низька вартість, але за відсутності додаткового захисту, недостатній захист поверхні спіралі або високої температури нагріву при перекиданні обігрівача може статися пожежа. Серйозним недоліком є також запах через згорання часток пилу, що осаджуються на нагрівальному розпеченому елементі.

Більш сучасним є нагрівальний керамічний елемент, оскільки його температура нагріву, як правило, не перевищує  $150^{\circ}\text{C}$  – це означає, що він більш прийнятний з точки зору пожежної безпеки. Керамічна пластина нагрівального елемента оснащена безліччю дрібних отворів, через які проходить і нагрівається при цьому повітря. Площа керамічної пластини

значно більша, ніж у спіральної нагрівальної елементи, завдяки чому при проходженні через неї повітря нагрівається за короткий час до більш високої температури. Слід відзначити, що крім нагрівальних елементів, які виконуються із склокераміки, є також схожі зовні металокерамічні елементи для нагріву, які є за своєю конструкцією чимось середнім між керамічним і спіральним елементом. Характеристики спіральних і металокерамічних нагрівальних елементів майже ідентичні, виняток становить менша пожежна небезпечність металокерамічних елементів. Трубчастий нагрівальний елемент являє собою металеву або кварцову трубку, яка містить нагрівальний елемент з дроту або графіту із заповненням навколо неї вільного простору кварцовим піском або окисом марганцю. Найчастіше в конструкції тепловентиляторів застосовується металевий тен з дровим нагрівальним елементом з ніхрому і кварцовим наповнювачем. Тепловентилятор, який оснащений тенем, може експлуатуватися вдвічі довше, ніж прилад із нагрівальним спіральним елементом, але при цьому його вартість значно зростає. Оскільки застосування тена дозволяє істотно підвищити потужність тепловентилятора, то використовуються такі прилади, як правило, для промислових потреб. Такі тепловентилятори називають також тепловими гарматами, їх потужність починається від 2,5 Вт. Слід зазначити, що тепловентилятори оснащуються також двома типами вентиляторів: осьовими, які оснащені лопатями і мають невеликий розмір і тангенціальними, які зовні схожі на продовгуватий конус, за довжиною якого встановлено 20–30 лопатей, паралельних одна одній. Тангенціальні вважаються менш гучними і виробляють більший потік повітря, ніж осьові, але при цьому мають велику довжину і тому встановлюються тільки в колонноподібні настінні й підлогові прилади. Тепловентилятори підрозділяються також за способом установки на стаціонарні та переносні.

Варто зауважити, що вентилятори без нагрівальних елементів, змонтовані на стелях або розміщені вертикально на стійках є охолоджувальним обладнанням.

Ще одним типом обігрівачів є інфрачервоний обігрівач [5]. Цим поняттям можна назвати все, що випромінює тепло в навколишнє середовище. Інфрачервоний обігрівач, прикріплений до стіни або стелі, виділяє випромінювання, що нагріває предмети і поверхні, які перебувають у приміщенні або на шляху випромінювання. Поверхні, у свою чергу, віддають тепло приміщенню, нагріваючи повітря в ньому. Основними перевагами подібного обігрівача є такі: він не сушить повітря, не спалює кисень, економічний, підвищує комфортність за рахунок обмеження турбулентності пилу. Крім того, він простий при встановленні, забезпечує швидке прогрівання приміщення, а також дозволяє робити як зональний, так і точковий обігрів. Іншим поширеним типом є кондиціонери [6]. В основі роботи кондиціонера лежить принцип переміщення тепла зрідженим газом, який називають холодоагентом, в процесі переходу його з рідини в пару і навпаки. Таким чином, процес роботи кондиціонера практично нічим не відрізняється від процесу роботи звичайного холодильника. Температура кипіння холодоагенту набагато нижча від температури кипіння води. Під час роботи кондиціонера відбувається перенесення тепла із середовища, в якому знаходиться випарник (внутрішнє приміщення) в те середовище, де знаходиться конденсатор (вулиця). Для обігріву в кондиціонері знаходиться вилючний реверсивний клапан для зміни напрямку руху потоку холодоагенту. Цей метод, названий «обігрів в режимі теплового насоса», заснований на принципі забору теплоти з повітря поза приміщенням і її перенесення в повітря, що знаходиться всередині приміщення. Кондиціонери мають надзвичайну потужність, проте є енергозатратними.

Розвиток систем кондиціонування тісно пов'язаний з бажанням людей покращити свій навколишній простір. Так, як було вказано раніше ще в 1917 році вперше американська компанія Carrier, яка носить ім'я винахідника, було створено перший кондиціонер. Нині дана компанія займає близько 15% ринку систем кондиціонування. Важливим етапом розвитку систем кондиціонування

стало поява в 60-х роках минулого століття новітніх на той час систем кондиціонування компанії Daikin – перші спліт-системи. Впродовж кількох десятиліть не відбувалося жодних нових кроків у розвитку засобів кондиціонування, допоки в кінці минулого століття компанія Toshiba не запропонувала свою розробку системи кондиціонування. Особливою характеристикою даної розробки стало те, що можливо було плавно змінювати потужність, тим самим порівняно з попередниками значно плавніше контролювати температуру та вологість приміщень. Нині на ринку близько 95% систем кондиціонування мають дану систему плавної зміни потужності, з чого можна зробити висновок, що вона визначила напрямок розвитку пристроїв контролю мікрокліматом приміщень.

Найцікавішими в даний час можна вважати розробки з вбудованими WI-FI модулями. Дані кондиціонери мають як правило доступ до інтернету і дають змогу за допомогою додаткових програм на телефоні або планшеті, з будь-якого місця в якому перебуває людина ввімкнути або вимкнути його. Здійснити тонке налаштування режиму роботи. Прикладами даних розробок є модель AQV09KBBN та AQV12KBBN компанії SAMSUNG, які крім всього іншого за допомогою з'єднання по WI-FI дозволяють вимкнути або ввімкнути кондиціонер до приходу додому. Також у даних пристроях передбачений спеціальний режим комфортного охолодження, який за відповідно складеною програмою самостійно підбирає необхідний рівень вологості до температури. В іншої компанії Cooper&Hunter в ряді моделей таких, як CH-S12FTXN-E, H-S24FTXTB2S-W (WI-FI), CH-S09FTXE (Wi-Fi) та CH-S24FTXAM2S-BL є можливість керувати ними зі спеціального додатку. Дизайн програми керування для кондиціонерів Cooper&Hunter (рисунок 1.1) є інтуїтивно зрозумілим та простим.[7-8]



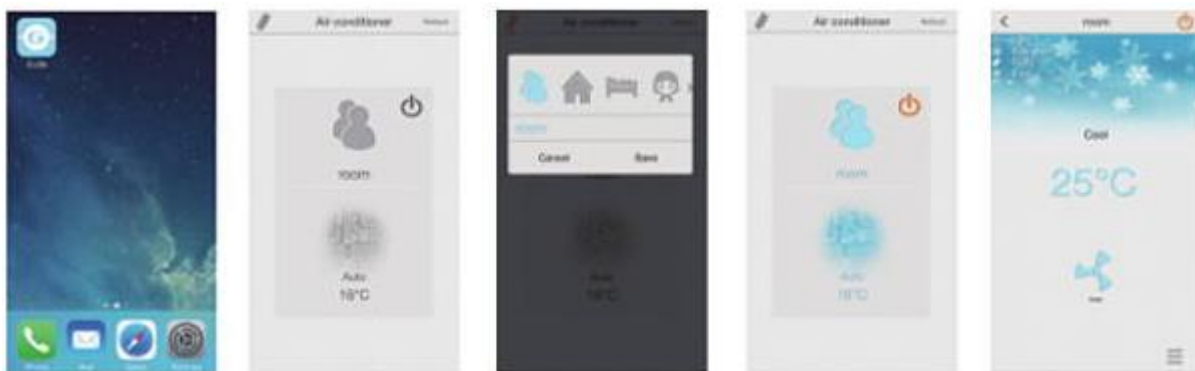


Рисунок 1.1 Вигляд додатку для керування кондиціонерами Cooper&Hunter

### 1.3. Типи систем керування та регулювання

Нині системи керування мають практично необмежені можливості. Їх використовують усюди: від сучасних мегаполісів до сільськогосподарських полів. Вони починаються із систем енергозабезпечення та закінчуються автоматичними системами контролю потоку транспорту. Навіть робота сільськогосподарської техніки залежить від різноманітних систем керування, які прораховують маршрути, складають плани руху тощо.

Вплив від роботи різноманітних систем керування неможливо переоцінити в сучасному світі, адже вони проникли в усі аспекти життя сучасної людини, від побутових дрібниць до промислових масштабів.

Всі наявні нині системи можна розділити на два види: з ручним керуванням та автоматичним. З початку існування електронного обладнання постала проблема керування ним. Першою системою керування був вимикач. Ці пристрої мали два положення: «ввімкнути» і «вимкнути» - були механічними і керували лише подачею електроживлення. Зрозуміло, що ця система керування не піддається регулюванню.

Наступним своєрідним проривом стали перемикачі з декількома положеннями. За кожним із цих положень можна було закріплювати певні фізичні функції, наприклад освітлення. Існували три положення: вимкнено,

ввімкнути половину ламп або ввімкнути всі лампи. Тут існувала можливість налаштувати кількість ламп, які вмикалися б в середньому положенні перемикача.

Далі з'явилися колоподібні вимикачі, які за рахунок барабану, що провертається всередині, змінюють кількість струму або напруги, які потрапляють до ламп, і, відповідно, лампи працюють у безлічі режимів: від вимкненого положення через плавне збільшення аж до максимального значення.

Окрім механічних систем керування із розвитком спочатку лампової, а далі транзисторної та мікропроцесорної техніки з'явилася можливість дистанційного керування певними процесорами – механічний перемикач змінили на транзистор, який міг вмикатися за командою, наприклад однокристального мікроконтролера. Саме тут людина отримала майже необмежені можливості з регулювання та керування різноманітними процесами, адже те, що людина може перемкнути за 1 секунду, мікропроцесор виконає за 0.0001 секунди і так практично необмежену кількість разів. Таке керування і можна вважати автоматичним, адже воно здійснюється за рахунок інформаційних команд, наприклад мікропроцесора, який працює за заданою програмою.

Розглянемо модель комп'ютера у який було закладено певну програму керування температурою, згідно з якою він здійснює зміну або за відхиленням від заданого значення, або за ієрархічною системою. У першому випадку в програмі було задано певне значення температури. Якщо комп'ютер, який отримував інформацію з датчика температури, бачив, що температура нижча, ніж задана в програмі, він вмикав обігрівачі, якщо ж вища – то кондиціонер на охолодження. У другому випадку ієрархічної системи існує вертикаль управління від найнижчого з максимальними можливостями до найвищого з малими. Тоді сигнал про зміну температури потрапляє до вищих рівнів, де аналізується. Після цього дається рекомендація на нижчий рівень керування,

на якому відбувається аналіз та приймається рішення про вмикання або не вмикання приладів зважаючи на інші фактори. Ця система має необмежені можливості з регулювання, оскільки її можна підлаштувати до будь-яких завдань, які необхідно виконувати за відповідних обмежень або умов.

Більшість описаного раніше кліматичного обладнання керується механічно: людині потрібно повернути ручку, встановити температуру, тощо. Проте існують більш складні системи керування. В нагрівачах або охолоджувачах можуть бути розміщені спеціальні схеми, за допомогою бездротового або дротового зв'язку на них можна подавати сигнали керування. Для вирішення найпростіших задач керування температурою використовують однокристальні мікроконтролери типу AVR або ARM. Їх застосування дозволяє здійснювати просте програмування виконавчих механізмів або створювати задачі для виконання. Для складніших систем використовують стаціонарні комп'ютери, які з'єднані з мережею Інтернет, дозволяють створювати надзвичайно складні плани роботи, дають можливість за допомогою спеціальних програм або сайтів керувати пристроями дистанційно, перебуваючи за тисячі кілометрів від обладнання.

На базі комп'ютерних систем існують варіанти реалізації систем керування на базі фазі-логіки. Наразі основна частина систем може чітко виконувати команди керування, проте ефективна та комфортна система керування для людини може бути побудована лише із використанням штучного інтелекту, який міг би розуміти неточні команди, сформовані людиною, та інтерпретувати їх у сигнали керування класичної системи. Ці пристрої мають можливість скоротити витрати та зробити більшість процесів більш економічно вигідними з позиції енергоефективності. Тому побудова цих комплексів є надзвичайно актуальним завданнями.

## РОЗДІЛ 2 ЗАСТОСУВАННЯ НЕЧІТКИХ РЕГУЛЯТОРІВ У СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ

### 2.1. Нейрофізіологічні засади фазі-логіки

П'ять основних видів чутливості, за допомогою яких ми сприймаємо оточуючий нас світ, – це зір, слух, смак, нюх і дотик (тактильні відчуття). Для кожного з цих відчуттів є свої особливі органи та особливі відділи нервової системи, за якими передається інформація. Ще одне чуття, що майже ніколи не фігурує в таких списках – може тому, що його орган знаходиться всередині, а не зовні, але в основному тому що з ним рідко трапляються неприємності. В бічний ділянці черепа в глибині кісток трохи нижче вуха лежить, так званий вестибулярний апарат. Він відповідає за відчуття рівноваги, яким ми користуємося, щоб контролювати рухи голови й тіла, орієнтуватися в просторі.

«...Спека всюди. Її не можна більше не помічати. Повітря розжарене, як у доменній печі, – воно настільки гаряче, що мої очі, захищені окулярами, здаються прохолодними порівняно з рештою обличчя. Руки теж прохолодні, але на тильному боці рукавичок видні великі темні плями ... поту...» Ця цитата із книги «Дзен і мистецтво експлуатації мотоцикла.» Роберта Пірсіга показує, як потік нових відчуттів змушує головного героя гостро усвідомлювати свою здатність до сприйняття оточуючого середовища і власного тіла.

Ми постійно відчуваємо нові «світи», наше тіло і розум весь час фіксують зовнішні й внутрішні зміни. Саме наше життя залежить від того, наскільки успішно ми відчуваємо світ, в якому перебуваємо, і наскільки точно ці відчуття керують нашими рухами. Ми уникаємо загрозливих подразників – надзвичайної спеки; вигляду, звуків або запаху хижака – і прагнемо до комфорту і благополуччя. Здатність відчувати і рухатися – це дві основні властивості всіх живих організмів від найпростіших до найскладніших. Однак

істоти, що мають нервову систему, в своїй здатності відчувати і рухатися далеко перевершують більш прості організми, які не мають нервів. Складна клітинна механіка сенсорної (чутливої) і моторної (рухової) систем опирається на кооперацію багатьох взаємопов'язаних клітин, які спільно здійснюють низку послідовних дій, як при роботі на конвеєрі. У цьому процесі мозок постійно аналізує сенсорну інформацію і керує тілом для здійснення найкращої реакції – наприклад, щоб знайти тінь від спеки, укриття від дощу або усвідомити, що байдужий погляд незнайомого не становить загрози. Для того щоб зрозуміти, хоча б частково, наскільки складні відчуття і рухи, корисно ознайомитися з загальними принципами роботи відповідних систем.

В загальному вигляді модель сенсорної та рухової систем можна уявити наступним чином. Протягом століть люди користувалися різними пристосуваннями для зв'язку один з одним – від дуже простих сигналів (миготіння відбитого сонячного світла, що передається від одного спостережного поста до іншого) до більш складних – таких, як закодовані сигнали барабанного бою, передача цілих речень за допомогою телеграфу, телефону і, нарешті, через супутники зв'язку. Всі ці системи виконують одну і ту ж функцію, але більш складні з них несуть більше інформації, швидше здійснюють її передачу і відрізняються більшою гнучкістю. Для поліпшення зв'язку знадобилося залучення багатьох додаткових компонентів, які розпізнають, аналізують і підсилюють сигнали. Нервові клітини сенсорних і рухових систем теж повинні взаємодіяти між собою, для їх нормального функціонування. Розповідаючи про те, що відомо про процеси відчуття і руху, потрібно розуміти, що нині людство володіє лише початковими відомостями про ці системи, хоча частково і усвідомлює їх складність і заплутаність. Вони схожі на системи зв'язку майбутнього, з приводу яких можна багато фантазувати, але які важко описати. Всі відомі частини сенсорних систем як в простих, так і в складних нервових системах включають як мінімум наступні компоненти:

- детектори стимулу – спеціалізовані рецепторні нейрони;
- первинний сприймаючий центр, куди сходиться інформація від групи детекторних блоків;
- один або більше вторинних сенсорних й інтегруючих центрів, які отримують інформацію від первинних.

У більш складних нервових системах інтегруються центри, пов'язані також один з одним. Їх взаємодія створює «сприйняття».

Сенсорна система починає діяти тоді, коли будь-яке явище довкілля – стимул, або подразник, – сприймається чутливими нейронами – первинними сенсорними рецепторами. У кожному з них фізичний фактор, що діє (світло, звук, тепло, тиск) претворюється в потенціал дії. Ці нервові імпульси, відображають сенсорні стимули у вигляді клітинних сигналів, які можуть надалі перетворюватися нервовою системою. Ці потенціали дії передаються по сенсорному волокну в центр сприйняття, відповідальний за даний вид відчуттів. Як тільки імпульси досягають первинної зони переробки, з деталей сенсорних імпульсів вилучається інформація. Саме надходження імпульсів означає, що відбулася подія, яка стосується даного сенсорному каналу. Частота імпульсів і загальне число рецепторів, що передають імпульси, відображають силу стимулу і розміри об'єкта, що сприймається. При сприйнятті квітки, наприклад, відбувається розпізнавання його кольору, форми, розміру й відстані до нього. Ця та інша інформація потім передається з первинних зон обробки у вторинні, де формується подальше судження про події, що сприймаються.

У наступних інтеграційних центрах сенсорної системи може додаватися інформація з інших джерел відчуттів, а також із пам'яті про подібний минулий досвід. У якийсь момент природа і значення того, що ми відчуваємо, визначається в результаті усвідомленої ідентифікації, яку ми називаємо сприйняттям. Після цього настає час для відповідної дії, якщо вона потрібна.

За цією загальною схемою працюють всі сенсорні системи. Таким чином, розглянувши функціонування однієї з них, можна певним чином перенести загальні висновки й на інші системи. Точно так само можемо проаналізувати діяльність моторної, або рухової, системи як подібно організованої мережі, по якій рухаються імпульси, але тільки в зворотньому напрямку. Сенсорні системи переробляють інформацію, що надходить в мозок, а моторні системи ту, що йде від мозку до м'язів. але структурна організація й тих і інших систем має риси подібності. Роботою окремих м'язів керують групи рухових нейронів, або мотонейронів. Їх діяльність регулюється клітинами рухових інтегруючих областей, які в свою чергу знаходяться під контролем ще більш складних рухових центрів.

Як і тварини, людина сприймає навколишній світ за допомогою власних сенсорних систем. Вони отримали назву за тим видом сенсорної інформації, для сприйняття якої спеціально пристосовані. Сприймаються зорові, слухові, дотикові, смакові і нюхові стимули, а також сила тяжіння. Інші, менш ясні відчуття дозволяють контролювати стан кінцівок і їх окремих частин, що дає можливість керувати рухами – ходити не спотикаючись, чесати ніс, не потрапляючи при цьому в очі, тощо. Ще менш помітні сигнали, що надходять з глибини тіла. Вони повідомляють про його температуру, хімізм і обсяг крові, про зміни, які контролюються ендокринними органами. Всі форми відчуттів несуть інформацію про час, коли з'явився стимул і як довго він впливав. Зір, слух, нюх і дотик надають також відомості про положення джерела сигналу в просторі. Порівнюючи силу сигналів, які сприймаються кожним вухом або кожною ніздрею окремо, а також визначаючи місце сигналу в полі зору, мозок може встановити, де знаходиться його джерело в зовнішньому світі. При прямому фізичному дотику до шкіри мозок визначає локалізацію стимулу завдяки зв'язкам кожної ділянки тіла з відповідним пунктом у сенсорній корі. Кожна з сенсорних систем розрізняє також одну або кілька властивостей сигналу. Людина бачить кольори й їх яскравість; чує тембр і висоту звуку;

відчуває солодкий, кислий чи солоний смак. Є можливість розрізнити відчуття з поверхні тіла за гостротою сигналів (гострі або тупі), за температурою (гаряче або холодне), за характером тиску на шкіру (постійне або вібруюче). Те, що кожна з цих характеристик сприймається органами чуттів окремо, означає, що існують рецепторні клітини, спеціалізовані для сприйняття певних особливостей стимула. Судження про кількість теж опираються на реакції рецепторних клітин. Рівень їх активності відображає інтенсивність сигналу, що сприймається. Чим яскравіше світло, голосніше звук, інтенсивніше запах, тим вище рівень активності рецепторів; і навпаки, менш інтенсивні сигнали викликають меншу активність. Сигнали, занадто слабкі для сприйняття, називають «підпороговими». Інтенсивність, або сила, відчуття впливає також на його інтерпретацію. Лоскотання може стати болісним, якщо це відбувається занадто сильно або довго. Хоча зазвичай говорять: «Відчуваємо біль», було б доцільніше сказати, що ми оцінюємо відчуття як болюче по силі і якості визначених сенсорних сигналів, які можуть виникати під дією тиску, звуку і навіть світла. «Біль» можна розглядати як «суб'єктивне» відчуття, так як рішення про те, чи є даний стимул болючим чи ні, вимагає інтерпретації з боку самого суб'єкта. Люди розрізняються за своєю чутливістю до різних видів сигналів, зокрема больових. Основні категорії шести основних сенсорних систем людини – модальність ( зір, слух, рівновага, дотик, смак і нюх) та їхні властивості. Розрізняють спеціалізовані органи, які сприймають специфічні для кожної з них стимули, властивості стимулів, які розпізнаються ними і рецепторні клітини, що реагують на силу і якість стимулу. Зокрема, в органах нюху і смаку використовується тільки один вид рецепторів, хоча з їх допомогою можна розрізнити багато різного роду властивостей навіть за дуже малої сили подразника. В цьому випадку їхнє визначення рецептором залежить не від виду клітин, а від їхнього розташування на поверхні язика або слизової оболонки носа і глотки. Мабуть, ті чи інші речовини, якщо їх нюхати або пробувати на смак, викликають різні реакції в залежності від



індивідуальних властивостей сприйняття рецепторів. На поверхні язика можна визначити розташування клітин, що розрізняють чотири основних смакових властивості, але локалізація рецепторів специфічних запахів на слизовій нюхової системи ще не встановлена.[9]

Розглянемо тепер більш детально два аспекти сенсорної реакції: стимулядаптацію і каналізування інформації. Як було вище сказано, роль рецепторів полягає в тому, щоб повідомляти про ті зміни, які відбуваються в зовнішньому світі. Деякі рецептори дають більш інтенсивну реакцію на початку дії сигналу, а потім реакція слабшає. Таке зниження інтенсивності відповіді називають адаптацією. Швидкість і ступінь її при впливі тривалого подразника варіює для різних органів чуття й залежить від обставин. Людина звикає до постійних запахів – наприклад, до запаху газу при його витоку. Щоб знову відчувти його, потрібно глибоко вдихнути, щоб переконатися в його присутності.

Можна сказати, що первісне відчуття служить для того, щоб додати нову подію в той інформаційний фонд, яким користуються для оцінки поточного моменту. Зменшення реакції на тривалий стимул полегшує сприйняття нових сенсорних сигналів. Якби нові і колишні сигнали були однакові за силою, людина потонула б у потоці сенсорної інформації, що надходить від усіх рецепторів.

Людина постійно використовує всі можливості, щоб отримати свіжу інформацію про довкілля. Кожен рецептор при своєму збудженні надсилає сенсорну інформацію по ланцюгу синаптичних перемикачів, специфічних для даної сенсорної системи; при цьому сигнали передаються на більш високі рівні мозку. На кожному з них сигнал підлягає додатковій обробці. Після того як фізичні подразники – світлові або звукові хвилі, запахи, жар, холод, постійний або вібруючий тиск – були перетворені рецептором в нервові імпульси, вони вже не мають самостійного значення. З цього моменту фізична подія існує лише у вигляді коду нервових імпульсів у специфічних сенсорних каналах

нервової системи. Згодом мозок реконструює зовнішній світ, складаючи разом всю інформацію, яка в даний момент надходить від кожного з активованих рецепторів. Ось ця сукупність інформації й інтерпретується мозком для створення тієї уявної конструкції, яка буде цілісним сприйняттям зовнішнього світу в кожний даний момент. Існують основні місця обробки інформації, більшість з яких є також специфічними ділянками каналів, відведених для кожного виду сенсорних сигналів. Крім основних рівнів, усередині кожної системи інформація, яка надходить на той чи інший рівень, може піддаватися або ні спеціальній обробці. Або ж інформація у вигляді вихідних даних може бути надіслана для обробки в інші системи, які безпосередньо її потребують (наприклад, сенсорна інформація від органів рівноваги відразу надходить для переробки в стовбур мозку). Кожен синаптичний зв'язок передбачає можливість обробки сенсорної інформації. Спрощено кажучи, вона може бути сконцентрована шляхом конвергенції, якщо група рецепторів передає її загальним первинним сприймаючим нейроном, або ж розсіяна при дивергенції, коли кілька рецепторів надсилають її більшому числу нейронів. У деяких синапсах можливі і більш складні перетворення. Щоб уявити собі, як вони відбуваються, потрібно згадати два основних типи нервових мереж. Ієрархічні, передають інформацію з одного рівня сенсорної системи на інший, і локальні, які діють в межах одного рівня, розширюючи або обмежуючи число нейронів, залучених до загального процесу.

Кожна рецепторна клітина реагує на події зовнішнього світу, до яких вона чутлива, в межах обмеженої зони, так званого рецепторного поля. Наприклад, рецептор шкіри сприймає тільки те, що відбувається в його рецепторному полі – в обмеженій ділянці, розташованій над ним на поверхні шкіри. Кожен з рецепторів шкіри надсилає свій головний сигнал одному сенсорному нейрону спинного мозку; в той же час він передає невелику кількість інформації іншим точно визначеним мішеням. Тепер має бути ясно,

що обробка інформації відбувається при взаємодії між клітинами на кожному рівні.

Одже, специфічні сенсорні системи, в загальних рисах схоже організовані, займаються обробкою різних видів інформації. Спеціалізовані рецепторні клітини, що знаходяться в шкірі або спеціальних органах чуття, сприймають фізичні події, що відбуваються в зовнішньому світі. Потім вони перетворюються в нейронну активність, в сигнали, які передаються нейронами, з'єднаними в упорядковані мережі, де і здійснюється послідовна обробка інформації. Різні аспекти стимулів підлягають послідовній обробці у відокремлених, але паралельних каналах і в кінці кінців знову об'єднуються на рівні кори головного мозку.

Рухова система також здійснює послідовну обробку нервових сигналів. Вона діє відповідно впорядкованого плану від ініціації руху моторної кори до скорочення м'язів, що контролюють стан і стабільність суглобів, за командами спінальних мотонейронів. Паралельні модифікуючі системи мозочка і базальних гангліїв забезпечують координоване виконання рухової програми.

Число нервових елементів, які використовує мозок для розрізнення властивостей подразника або для забезпечення швидкого, плавного і точного руху частин тіла, так велике, що це закриває один важливий висновок. Сенсорна і рухова системи, можливо, в принципі і незалежні одна від іншої, але тільки деякі сенсорні процеси завершуються, не приводячи до початку або уточнення рухів. Відчуття як кінцевий підсумок – досить рідкісне явище, крім тих випадків, коли люди намагаються аналізувати свій власний чуттєвий досвід. Так само рух заради руху – привілей одних тільки спортсменів і танцюристів. Узагальнюючи можна сказати, що мозок підтримує організм, відчувачи його потреби і спонукаючи до дій, необхідних для їх задоволення. Однак людський мозок має також величезні можливості, що дозволяють порівнювати сьогодення з минулим. На підставі безлічі сенсорних відомостей робляться висновки, які майже відразу ж визначають, які рухові дії необхідні

і які не потрібні. Численні паралельні обробні системи дають безліч тлумачень поточної ситуації, які заповнюють можливу нестачу сенсорних даних за рахунок минулого досвіду.[9]

## 2.2. Основні положення теорії нечіткої логіки

Поняття фазі-логіки з'явилося тільки у 1965 році. З початку існування перших комп'ютерів в основу їх роботи було покладено чітку математику. Сучасні зразки електронного обладнання, як правило, функціонують виключно на жорстких правилах бінарної математики. Абсолютна більшість промислово реалізованих систем базується на таких пристроях. Але реалізація жорсткої логіки не здатна врахувати повною мірою особливості сприйняття та аналізу інформації людиною. Одним з можливих варіантів вирішення задачі наближення логіки функціонування технічних систем до особливостей мислення та аналізу даних людиною є розробка та застосування фазі-логіки як елементу штучного інтелекту. Фазі-логіка, або нечітка логіка, стрімко почала розвиватися в теоретичних розробках після того, як у 1965 році в журналі «Information and Control» було опубліковано роботу на тему «Fuzzy Sets» професора Каліфорнійського університету (Берклі) Лотфі А. Заде (Lotfi A. Zadeh). Його робота стала поштовхом до розробки нової математичної теорії та застосування її для інтелектуальної діяльності людини. Теорія нечітких множин - це єдина теорія, яка використовує зміст слів людини у побудові алгоритмів функціонування технічних систем. Комп'ютери можуть надавати інформацію людині виключно у вигляді чітких даних – зображень, таблиць, графіків, цифр, тощо. Застосування нечіткої логіки може забезпечити відтворення інформації у комфортній для людини формі. Одним із напрямків застосування фазі-логіки у сучасних системах є керування параметрами мікроклімату, зокрема, температурою та пов'язаною з нею вологістю. Зазвичай в наявних системах людина задає температуру та вологість або у

вигляді числового значення, або відповідно до певної шкали пристрою. Однак більш зрозумілим та комфортним для людини є оперування не такими поняттями, як наприклад, «збільшити температуру на 2 градуси», а формулюваннями типу «прохолодно», «спекотно», «холодно», тощо або «сиро», «сухо» тощо. Керування за допомогою такого лінгвістичного апарату і забезпечує нечітка логіка. Факторами нечіткості служать:

- неможливість повного і точного опису більшості фізичних об'єктів;
- неможливість неперервного та безпосереднього вимірювання певних фізичних величин.[10]

Цей перелік не є вичерпним, але наявність цих факторів обумовлює доцільність застосування нечіткої логіки.

У класичному понятті чіткої бінарної множини існує функція як сходи́нка, яка може дати системі лише два значення: 1 або 0. Л. Заде запропонував оперування нескінченною кількістю значень 0 та 1. Тому в функціях приналежності для елементу множини надано безліч значень в інтервалі  $[1; 0]$ . Такі множини й були названі нечіткими (fuzzy). Л. Заде визначив ряд операцій, які можна виконувати над нечіткими множинами, і запропонував узагальнення відомих методів логічного виведення *modus ponens* (той, що підтверджує) та *modus tollens* (метод від супротивного) в контексті нечітких множин. Ним було введено поняття лінгвістичної змінної. Припустивши, що в якості значень (термінів) виступають нечіткі множини, Л. Заде створив апарат для опису процесів інтелектуальної діяльності, включаючи нечіткість і невизначеність виразів.

Для нечіткої підмножини характерною особливістю є те, що на визначеному проміжку  $[1; 0]$  існує безліч значень. Графічно функції приналежності, які є ймовірностями набуття деякою змінною певного значення, бути обраними в множині, можуть бути будь-якої форми (рис. 2.1), проте основними вважають трикутну, трапецеїдальну та Z-подібну.

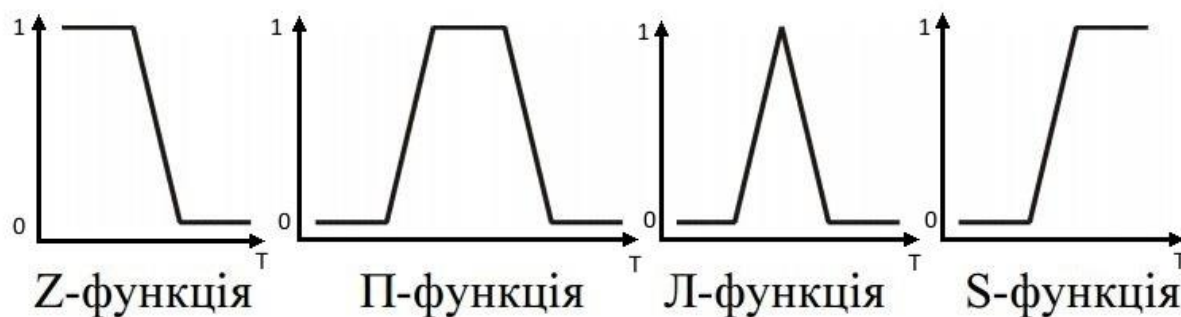


Рис. 2.1 Види функції приналежності

Особливістю трапецеїдальної форми є те, що існує певна кількість значень “1” та два значення “0”. Трикутна форма є окремим випадком трапецеїдальної, але має лише одне значення - “1”. Проте ці функції мають два проміжки: на одному функція зростає, а іншому функція. Z-подібна функція може бути спадаючою або зростаючою. Зростаюча S-функція є дзеркальною до Z. Ці функції приналежності фактично представляють собою значення, які може приймати фізична величина. Було визначено, що над нечіткими множинами можна проводити логічні та арифметичні операції. Можна будувати графіки візуального представлення логічних дій.

Процес роботи системи нечіткого керування можна представити у вигляді блок-схеми (рис. 2.2).

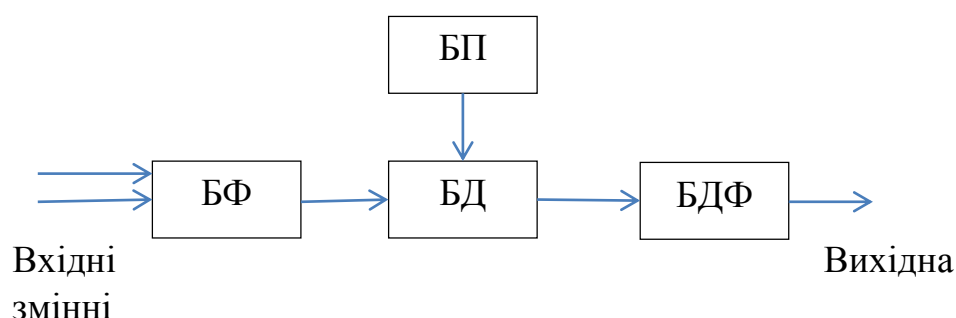


Рис. 2.2 Загальна структура системи нечіткого керування

На рис. 2.2 прийнято такі позначення:

- БФ – блок фазифікації (введення нечіткості), в якому з вхідних величин формуються функції приналежності як на рис 2.3;
- БП – блок правил, в якому задаються правила функціонування нечіткого алгоритму;
- БД – блоки логічних дій, композиція та виконання функцій з величинами, що створює єдину функцію керування;
- БДФ – блок дефазифікації, в якому відбувається ліквідація нечіткості – з вихідної функції формуються чітке значення.

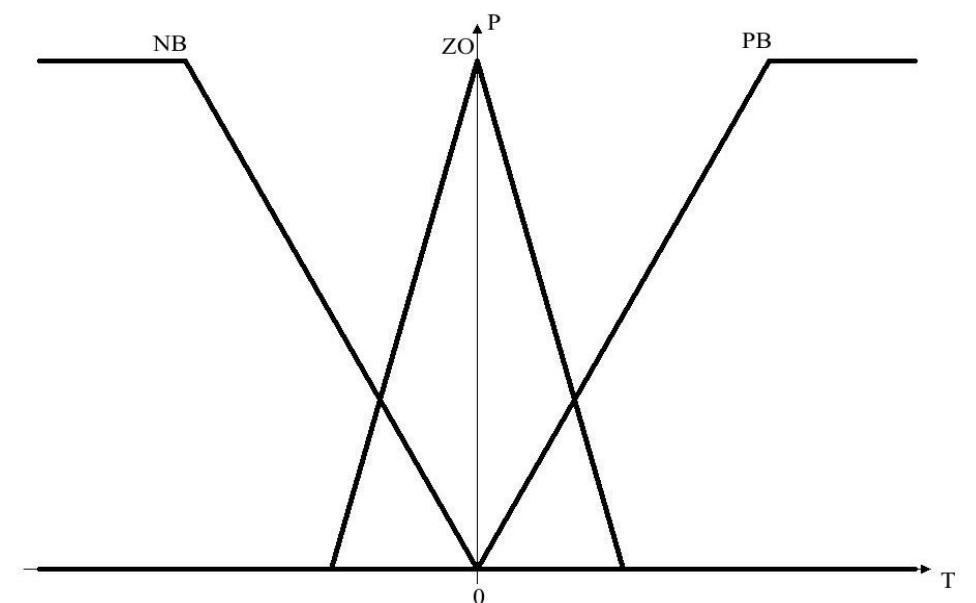


Рис 2.3 Можлива функція приналежності вхідної змінної

На графіку зображено вихідну змінну  $P$ , на інтервалі  $T$ . Відповідно в залежності від змінної  $T$ , робоча точка потрапить на одну з трьох характеристичних функцій  $P$ :  $NB$ ,  $ZO$ ,  $PB$ . Кожна з цих функцій описує вихідну змінну дію, як приклад вимкнути, продовжити виконання попереднього завдання та ввімкнути. [11]

Задача керування температурою та вологістю полягає в ефективному коригуванні температури в приміщенні, зважаючи на вологість за нечіткого

задання людиною бажаною температурою та зважаючи на наявні данні в системі. Лінгвістичні змінні обираються розробником системи довільно. Правила функціонування задаються з отриманих даних, отриманих розробником під час експериментів у вигляді рівнянь та таблиць, як наприклад таблиця 2.1. правила системи керування.

Табл. 2.1

	Змінна 2			
		N-	NO	N+
Змінна 1	C1	PB	PB	PD
	B1	PB	PD	PM
	A1	PD	PM	ZO
	ZO	PM	ZO	NM
	A2	ZO	NM	NS
	B2	NM	NS	NB
	C2	NS	NB	NB

Нечітка логіка застосовується в багатьох галузях науки, в тому числі в сучасних розробках або модернізаціях відомих виробів. За допомогою використання фазі-логіки можна покращити коефіцієнт корисної дії, полегшити планування для операторів або систем контролю і збору даних. Так, нечітку логіку було використано для: вдосконалення методів визначення варіантів відновлення схеми електропостачання споживачів, розробки імпульсних систем стабілізації постійної напруги із нечіткими регуляторами, керування трифазними фільтро-компенсуючими перетворювачами, фільтрами та іншими розробками в галузі керування та контролю.

Передусім для розробки алгоритму керування та створення пристрою на основі фазі-логіки необхідно точно визначити, які функції мають ними виконуватися та провести аналіз процесів, які впливають на температуру та



вологість. Також потрібно визначити, які величини є вхідними та вихідними для такої розробки, їх діапазон та кількість градацій. Необхідно врахувати можливість розробки різних алгоритмів роботи пристрою та провести аналіз їх ефективності.

Нечітку логіку доцільно застосовувати для забезпечення керування людини процесами, які некомфортно змінювати в чітких межах. Система має розуміти описані багатоконтекстні фрази та правильно їх інтерпретувати відповідно до програми функціонування.

Особливістю оцінки людиною параметрів навколишнього середовища є багатоаспектна свідомість. Це означає, що людина комплексно аналізує багато факторів, таких як температура, вологість, хімічний склад, розрідженість повітря. Якщо якийсь із них не відповідає індивідуальним уявленням про комфортний стан, людина відчуває дискомфорт та незадоволення, прагне змінити параметри середовища або переміститися в інше місце. При цьому людина не оперує чіткими значеннями температури по шкалі Цельсія, Фаренгейта або Кельвіна. Вона оперує лінгвістичними параметрами типу «холодно», «спекотно» та їх варіаціями та відповідно «волого» та «сухо» у випадку вологості. У разі відчуття комфортного стану, людина оцінює ситуацію як «нормально», «прийнятно», «добре». Зрозуміло, що для технічної системи керування, яка базується на чітких значеннях, ці лінгвістичні формулювання є неприйнятними: для роботи системи потрібне чітке значення, а не прив'язані до індивідуальної свідомості поняття. Саме тому в контексті задачі керування мікрокліматом житлового приміщення доцільним є застосування нечіткої логіки, яка забезпечить комфортне для людини понятійне керування, а для технічної системи – зрозумілий чіткий алгоритм функціонування. Таким чином, необхідний апарат нечіткої логіки слугує проміжною узгоджувальною ланкою між людиною та технічною системою, створюючи базис для системи штучного інтелекту.

## 2.3 Особливості застосування нечіткої логіки для керування мікрокліматом

Для керування мікрокліматом приміщень з використанням нечіткої логіки є декілька основних параметрів, які необхідно контролювати. При оцінці мікрокліматичних умов житла основне значення має його температурний режим. Відносна вологість повітря має бути в межах 40-60%. Саме тому, найчастіше визначають і змінюють відповідно до потреб температуру й відносну вологість повітря, проте вони не єдині параметри на які потрібно зважати. Найважливішими характеристиками мікроклімату приміщень є:

- температура повітря;
- швидкість повітряних потоків;
- тиск та швидкість його зміни;
- наявність дисперсних фаз;
- температура стін та покриття підлоги;
- газовий склад повітря;
- наявність у ньому шкідливих речовин (гідроген сульфід, оксидів нітрогену і сульфору, родону, тощо);
- відносна вологість повітря;
- рівень освітлення об'єктів у приміщенні,
- спектри акустичних і електромагнітних хвиль;
- вміст електронегативних іонів;
- забруднення повітря мікроорганізмами.

Комфортні для людини умови мікроклімату визначаються в першу чергу його теплосприйняттям, яке визначається впливом переважно чотирьох факторів: температури повітря, його відносної вологості, швидкості переміщення (рухливості), температури поверхонь, що обмежують простір приміщення. Різноманітні комбінації цих параметрів забезпечують комфортні

умови перебування людини у приміщенні. Кожен з параметрів може змінюватися довільно, але у визначених межах. Якщо людина не відчуває ні холоду, ні перегріву, ні руху повітря біля тіла, вона відчувається комфортно. Тобто від людини відводиться рівно стільки тепла, скільки утворює її організм (існує баланс між теплогенерацією і тепловтратами в доквіллі).

Із переліку перерахованих вище параметрів, як правило визначають три основних: температура, відносна вологість і швидкість повітря. Числові значення цих показників нормуються ДСТУами і конкретизуються залежно від класифікації приміщень (житлові, громадські, адміністративні тощо), а також пори року у відповідності до діючих санітарних норм і наявного досвіду.

Тому для побудови системи керування, що розроблялася, важливими параметрами, які на думку авторів є найважливішими для створення комфортного мікроклімату, були прийняті температура повітря та відносна вологість. Адже, такі параметри як вміст пилу та температуру конструкційних елементів неможливо перевіряти без спеціалізованих пристроїв. Газовий стан повітря та наявність шкідливих речовин, як правило, неможливо визначити без спеціальних замірів виїзних лабораторій. Так само інші фактори, як правило не підлягають оперативній перевірці та контролю у відносно простих системах.

Особливі характеристики, як швидкість повітряних потоків, вміст пилу у повітрі, газовий склад чи наявність шкідливих речовин, контролюються системами кондиціонування. Кондиціонери, окрім покладених функцій контролю температури та вологості, як правило, здійснюють фільтрування повітряних мас через пристрої грубої та тонкої фільтрації, змішують повітря зовні та всередині (якщо це передбачено конструктивом конкретної моделі), тим самим регулюють стан повітря в приміщенні.

Для створення та функціонування системи керування мікрокліматом, а саме такими параметрами як температура та відносна вологість, з

використанням нечіткого регулятора, необхідними є датчики температури та вологості. Також, іншим важливим керуючим елементом є інформація, що надходить від людини про те, наскільки в приміщенні тепло або прохолодно, сухо або сире. Важливо зауважити, що джерелом даних про температуру та відносну вологість можуть бути не тільки окремі датчики, але можливо й інші системні датчики розміщені в інших пристроях в кімнаті, таких як датчик температури та вологості в кондиціонері, датчики температури в комп'ютерній техніці або навіть годинниках. Принципової різниці для системи керування в тому, з якого датчика буде надходити інформація немає, головне факт її наявності. Так само і з введенням інформації від людини. Для системи керування не відіграє принципової ролі як буде відбуватися введення інформації: голосом в приміщенні, через використання додатків на комп'ютері або смартфоні, за допомогою пульта керування, тощо. Важливим є лише сам факт наявності можливості ввести дані в систему не залежно від типу об'єкта введення.

Так само і вихідна дія системи керування може бути у вигляді аналогового сигналу на систему управління виконавчого механізму. Наприклад, силове реле яке керує вмиканням або вимиканням обігрівача, або сигнал в систему керування на веб-інтерфейс кондиціонеру, який здійснює охолодження або нагрівання приміщення. Для системи керування з нечітким регулятором дані особливості є несуттєвими, головне, щоб вони були коректними для теперішніх електронних систем взагалі.

За умови існування в приміщенні всіх можливих датчиків та систем, які здійснюють моніторинг за станом мікроклімату та сигналізують про будь-які зміни у ньому, логіка роботи системи керування з нечітким регулятором буде наступною: кілька блоків фазифікації, на кожен з яких подаються відповідні групи сигналів. Так, наприклад, на перший блок надходять дані про склад повітря, швидкість повітряного потоку, інформація про наявність в повітрі конкретних речовин та можливо окремі дані про перевищення\ критичне

зменшення вмісту визначеної складової ( $\text{CO}_2$  вуглекислого газу). На другий блок надходять дані про температуру покриттів, освітлюваність в кімнаті. На третій блок надходять дані про рівень температури, вологості, зміну температури та вологості протягом певного періоду та інформація від людини про її відчуття стану мікроклімату (прохолодно, сиро, нормально, комфортно, спекотно або сухо). Відповідно до кількості вхідних змінних та блоків фазифікації в системі, в блоці правил внесено умови, завдяки наявності яких в блоці дій здійснюється обробка фазифікованих значень по лініях контролю та керування. Після цього, отримані результати потрапляють в блок дефазифікації, де і перетворюються у відповідні змінні для виконавчих механізмів або інших систем керування та моніторингу.

Такі пристрої автоматичного керування, які функціонують опираючись на принципи фазі-логіки, доцільно застосовувати у мікроелектронних системах керування мікрокліматом, тому що вхідні данні у цьому випадку зазнають постійних змін, а вихідні потребують швидкого регулювання у режимі реального часу. Застосування у мікроелектронних схемах спеціалізованих пристроїв керування, що функціонують на засадах фазі-логіки, замість традиційних, дозволяє підвищити точність, надійність та простоту керування. Використання у системі контролю мікроклімату пристроїв, виконаних на основі нейро-фазі мереж, дозволяє обробляти дані, які є лінгвістичними величинами і одночасно здійснювати тонке налаштування виконавчого пристрою, який забезпечує точне і швидке керування в умовах, що постійно змінюються. Для створення подібних вузькоспеціалізованих пристроїв керування важливим етапом проектування є об'єднання логічних елементів, які реалізують функції фазі-логіки і характеризуються високою точністю та швидкістю дії у відповідь. Також, використання елементів конструкції, що здатні реалізувати більшу кількість функцій фазі-логіки, ніж прилади з традиційним представленням інформації,

ведуть до розширення функціональних можливостей пристроїв автоматичного керування мікрокліматом.

Використання нечітких регуляторів за останні десятиліття стрімко зростає. Основне застосування таких регуляторів у системах керування для покращення енергетичних, економічних або експлуатаційних характеристик, про це як факт може відповідати достатньо велика кількість робіт за даною тематикою.[12-46]

## РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ЗАСАД ФАЗИ-ЛОГІКИ

### 3.1. Опис логіки системи керування

Побудова логіки системи керування розпочинається з визначення завдання, тобто з того що необхідно виконувати системі, із значень які можуть бути надані їй та які вихідні змінні необхідно отримати на виході. Для побудови універсальної структури важливо передбачити максимально можливу реальну кількість як контрольованих факторів, так і вихідних дій.

Для контролю мікроклімату, в загальному вигляді, необхідно мати відповідні контрольні точки входу по кожному фактору (температура, відносна вологість, стан якості повітря тощо). Як зазначено раніше, для розробки було обрано два основних параметри контролю: температуру та відносну вологість. Тому в системі керування на вході будуть представлені сигнали введені людиною – лінгвістичні змінні типу: тепло, прохолодно, сухо, сиро, комфортно. Іншими числовими параметрами, які надходитимуть з датчиків будуть температура, обчислена зміна температури, значення рівня відносної вологості та відповідного перерахунку зміни вологості. Разом ці п'ять вхідних змінних, надходитимуть на блок фазифікації, де і будуть перетворюватися в фазифіковані значення. Числові значення перетворюватимуться за допомогою таблиці порівняння, в якій відповідному рівню температури присвоюється відповідний рівень фазифікованого значення. Це важливо, оскільки система повинна мати можливість коректувати дану таблицю при підлаштуванні до конкретного приміщення у якому працюватиме або під конкретного користувача. Так само як температура, так і відносна вологість має мати певні початкові таблиці фазифікації, та аналогічним чином має змінювати функції фазифікації. Людський лінгвістичний фактор так само фазифікується. В ідеальному

варіанті систему варто навчити з часом тому, щоб вона самостійно розуміла і розрізняла, чи людина дійсно намагається змінити параметри середовища, чи вона просто перечитує прогноз погоди. На початку роботи для фазифікації буде складений перелік відповідних команд, які може використати людина для керування системою. Дані команди введення не є якимось сталими значеннями необхідної зміни вихідної величини, а переважно бажаним вектором зміни. В майбутньому використовуючи додаткові обчислювальні засоби передбачено можливість доповнення існуючих команд унікальними користувачем. Це й буде основним фактором персоналізації системи керування, що дає змогу реалізувати людиноорієнтовану систему керування. Так само як і кастоматизації, таблиці фазифікації температури та відносної вологості дозволять еволюціонувати системі в більш комфортну для користувача. Одночасно з цим, можливо також вирішувати питання кастоматизації налаштування системи керування мікрокліматом відповідно до пори року, зовнішніх факторів навколишнього середовища або суб'єктивних суджень людини.

Побудова системи керування на таких принципах дозволить використовувати її можливості також для прямо не пов'язаних з нею функцій, таких як, наприклад, охорона приміщень або ідентифікація осіб які проживають або працюють в приміщенні. В систему можливо включити додаткові налаштування у разі, наприклад, виявлення джерела енергії з надмірною температурою, за умови, що паралельно з цим змінюється склад атмосфери приміщення, вказуючи на можливе виникнення джерела диму або вогню. Так, іншим фактором, за умови наявності якого система керування мікрокліматом може працювати як охоронна система, може бути відсутність звичних наборів фраз клієнта, поява сторонніх звуків, наприклад, від непроханих гостей. Також можливо інтегрувати у систему, наприклад, сигналізацію власнику на смартфон або передачу інформації охоронній



компанії, диспетчеру, про необхідність перевірки, щодо можливого несанкціонованого проникнення в приміщення.

Наступною частиною системи, в якій і здійснюється обробка фазифікованих сигналів, є блок дій. Він опрацьовує фазифіковані сигнали відповідно до правил, які знаходяться у блоці правил. Зазвичай здійснюються одноразові переходи по правилам на відповідні змінні, для отримання бажаного результату. Він потрапляє на блок дефазифікації, який інтерпретує відповідну вихідну фазифіковану змінну в необхідну послідовність команд або дій на виконавчі механізми або передає визначені команди на інші цифрові системи. В даному випадку, необхідними командами є вмикання охолоджувача або нагрівача та зволожувача. За рахунок дії однієї або двох вихідних змінних стане можливою зміна мікроклімату в приміщенні у визначених межах.

Центральним елементом нечіткого регулятора є сам блок правил. В даному елементі містяться абсолютно всі правила обробки фазифікованих величин, які максимально точно описують весь процес перетворення інформації та вибору відповідного необхідного вихідного впливу. Важливою особливістю є те, що правила цього блоку є постійними та незмінними. Вони не модифікуються та не змінюються в процесі роботи системи. Їх максимально правильний та точний опис визначає комфорт використання системи керування мікрокліматом в цілому. Розроблена таблиця правил відповідно повинна мати триграневе розташування параметрів зовнішніх фазифікованих рішень за даним температури, відносної вологості та зміни температури, інтегроване рішення по параметру вектору зміни вологості та передбачену правилами пророблену систему векторів керування людиною.

Відповідно, при описі процесу керування за базові приймається температура або відносна вологість в даний момент часу. Ці дві величини змінюються пропорційно одна одній, перебуваючи в умовній протифазі. За умови існування замкнутої системи, яка наближається до ідеально ізольованої,

в якій є визначений рівень відносної вологості, за умови появи нагрівача, спостерігається зменшення вологості пропорційно до збільшення температури повітря. Також, важливим параметром є зміна температури, оскільки за умови модифікації цього параметру, відбувається й зміна вологості. За даних умов, якщо відбувається збільшення відносної вологості та спостерігається зменшення температури навколишнього середовища, за бажанням користувача необхідно ввімкнути обігрівач на певний термін. Цей час необхідний для зменшення вологості відповідно до закладених правил. Після стабілізації змінюваного параметру (вологості) необхідно відповідно змінити залежний параметр (температуру), після чого система має вийти у вільний заданий режим.

Таким чином, описана розробка моделі керування мікрокліматом з використанням фазі-логіки, дозволить здійснювати контроль мікроклімату приміщень відповідно до зміни чотирьох основних числових вхідних параметрів та використовуючи лінгвістичні дані введені людиною.

### 3.2. Розробка алгоритму роботи нечіткого регулятора

Особливістю оцінки людиною параметрів навколишнього середовища є наявність у людини багатоаспектної свідомості. Це означає, що людина комплексно аналізує багато факторів, таких як температура, вологість, хімічний склад, розрідженість повітря. Якщо якийсь із них не відповідає індивідуальним уявленням про комфортний стан, людина відчуває дискомфорт та незадоволення, прагне змінити параметри середовища або переміститися в інше місце. Проаналізувавши описані вище параметри та узагальнивши вигляд зовнішніх факторів, було складено алгоритм роботи нечіткого регулятора. Позначення лінгвістичних змінних є достатньо умовним, воно не впливає на роботу системи загалом, лише позначає обрані фактори, вхідні та вихідні змінні або окремі правила.

Для системи керування мікрокліматом було обрано наступні вхідні лінгвістичні змінні:

- IAP – значення температури в приміщенні;
- AP – вектор зміни температури.
- PAI – значення відносної вологості приміщення;

Зміна температури в приміщенні є фізично визначеною величиною, яка вказує на те зростає чи падає мода значення температури в приміщенні за певний період часу. Ця зміна названа вектором для спрощення сприйняття ідеї системи. Рельно вектор може бути 3 типів: температура зростає, температура коливається та температура падає.

Вихідними лінгвістичними змінними обрано:

- HA – сигнали зміни температури.
- AH – сигнали зміни вологості.

Сигнал зміни температури та відносної вологості передбачає вмикання нагрівача, охолоджувача чи зволожувача, або відповідної комбінації виконавчих механізмів.

Для побудови алгоритму керування розглянемо такі значення лінгвістичних змінних: IAP, AP, PAI, HA та AH.

Для IAP вони такі:

- A1 – тепло;
- ZO – комфортно;
- A2 – холодно;

Для спрощеного подання структури прийняті лише 3 значення, проте для максимально наближених до сприйняття відчуттів людини можливо використовувати 5 значень. На рисунку 3.1 графік змінної IAP позначені N лінгвістичні змінні, T температура в градусах Цельсія.

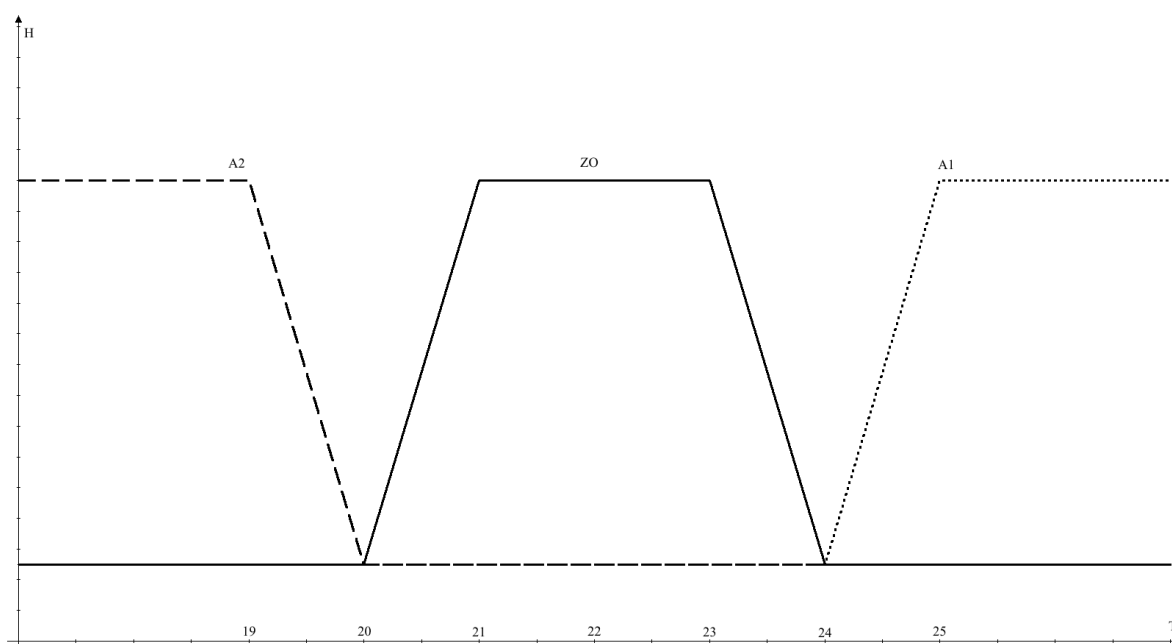


Рис. 3.1 Графік функції ІАР

Для АР :

- NB – температура зменшується;
- ZO – температура стабільна;
- BN – температура зростає.

Для РАІ вони такі:

- H1 – сухо;
- ZO – без зауважень;
- H2 – волого;

Повторення умовних позначень таких як ZO дозволяє спростити побудову системи розробниками та покращити сприйняття ідей керування при перевірках. На рисунку 3.2 графік функції РАІ позначені Z відповідні лінгвістичні змінні, H відносна вологість повітря.

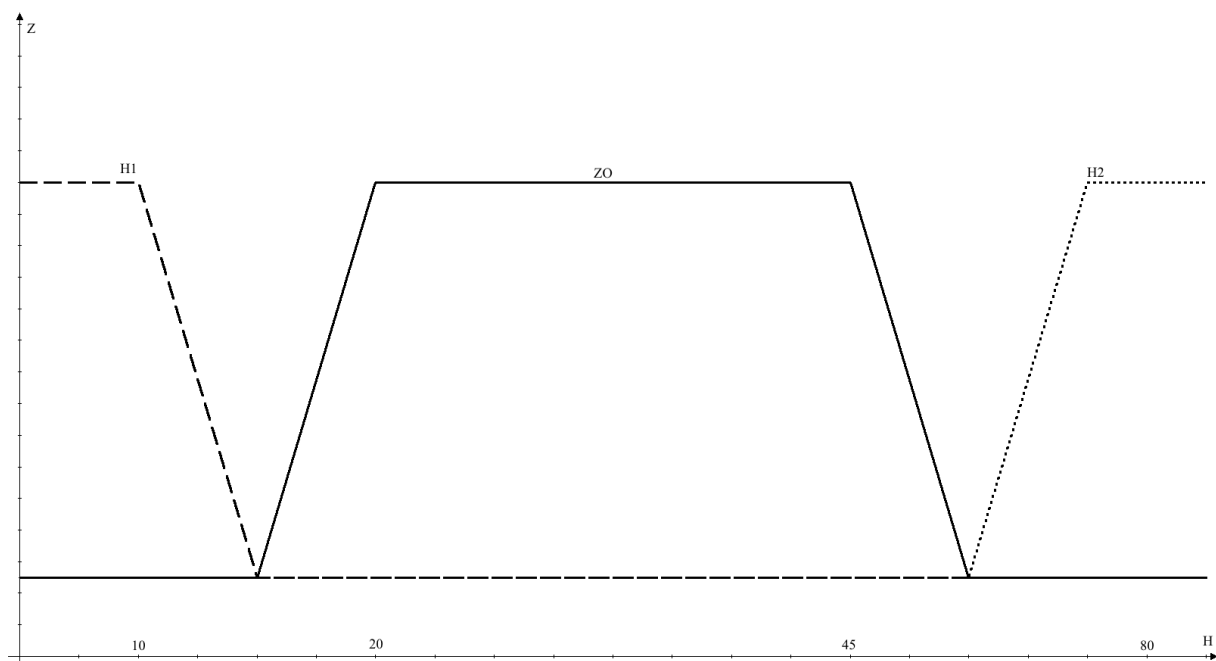


Рис. 3.2 Графік функції PAI

Для НА такі значення означають дію:

- NB – ввімкнення обігріву;
- ZO – бездіяльність або повторення попереднього завдання;
- BN – вимкнення обігріву;

Під вмикання або вимикання обігріву розуміються комплексні дії, наприклад, просто вимкнути обігрівач, або паралельно здійснювати додаткове зволоження, за рахунок якого температура також буде зменшуватися.

Для АН такі значення означають дію:

- NH – ввімкнення зволоження;
- ZO – бездіяльність або повторення попереднього завдання;
- NN – вимкнення зволоження;

Додатково варто зауважити, що всі таблиці фазифікації та дефазифікації величин мають трикутно-трапецеїдальну функцію, тобто описана вище модифікація правил здійснюватиметься за рахунок зміни функції приналежності. Відповідно чим більше вершина прямує до трикутника, тим жорсткішим є правило керування та відповідна вимірювана величина має

менші межі зміни, в яких вона вважається сталою. Так чим ширше у трапеції буде верхня вершина, тим ширші межі для коливання матиме величина. Можливість гнучко знайти баланс в межах необхідного регулювання створює передумови до більш точного підлаштування параметрів для підвищення комфорту людини.

Всі правила функціонування зосередженні в блоці правил. Кожне значення в даній таблиці є відповідним рівнянням керування системи. Складені логічні рівняння керування – правила, які формують таблицю у вигляді:  $\langle IAP \rangle + \langle AP \rangle + \langle PAI \rangle = \langle ZO \rangle$ , де  $\langle IAP \rangle$ ,  $\langle AP \rangle$ ,  $\langle PAI \rangle$  – значення лінгвістичних змінних. Розроблений алгоритм оперує з наступним набором правил:

$A1 + NB + H1 = K1$  – вимкнути обігрів або ввімкнути зволоження;

$A1 + ZO + H1 = K2$  – ввімкнути зволоження або вимкнути обігрів;

$A1 + BN + H1 = K3$  – вимкнути обігрів та ввімкнути зволоження;

$ZO + NB + ZO = K8$  – ввімкнути обігрів та ввімкнути зволоження;

$ZO + ZO + ZO = ZO$  – бездіяльність або повторення попереднього завдання;

$ZO + BN + ZO = K4$  – ввімкнути зволоження;

$A2 + NB + H2 = K7$  – ввімкнути обігрів та вимкнути зволоження;

$A2 + ZO + H2 = K6$  – ввімкнути обігрів;

$A2 + BN + H2 = K5$  – ввімкнути зволоження та\або ввімкнути обігрів.

Для прикладу, правило  $ZO + ZO + ZO = ZO$  означає, що а  $\langle IAP \rangle = ZO$ , тобто в приміщенні комфортно,  $\langle AP \rangle = ZO$  температура стабільна та  $\langle PAI \rangle = \langle ZO \rangle$  вологість без зауважень, тому необхідно продовжувати попереднє завдання або бездіяльність: відповідь  $\langle ZO \rangle = ZO$ .

Інший приклад  $A1 + BN + H1 = K3$  означає, що а  $\langle IAP \rangle = A1$ , тобто в приміщенні тепло,  $\langle AP \rangle = BN$  температура зростає та  $\langle PAI \rangle = \langle H1 \rangle$  вологість відчувається як сухо, тому необхідно вимкнути обігрів та ввімкнути зволоження: відповідь  $\langle K3 \rangle = BN$  та  $NH$ .

Відповідно розшифровка вихідних змінних така:

$ZO = ZO;$

$K1 = BN$  або  $NH;$

$K2 = NH$  та  $NB;$

$K3 = BN$  та  $NH;$

$K4 = NH;$

$K5 = HN$  та/або  $NB;$

$K6 = NB;$

$K7 = NB$  та  $NH;$

$K8 = NB$  та  $NH;$

Згідно з цими правилами формуються таблиці керування для блоку правил (табл. 3.1), та будуються функції приналежності при рівнозначній зміні температури та вологості рис 3.3. Функція  $S$  характеризує необхідний стан, а  $T$  та  $H$  відповідний параметр температури та вологості.

Табл.3.1

		AP				
		NB	ZO	BN		
IAP	A1	<b>K1</b>	<b>K2</b>	<b>K3</b>	H1	PAI
	ZO	<b>K8</b>	<b>ZO</b>	<b>K4</b>	ZO	
	A2	<b>K7</b>	<b>K6</b>	<b>K5</b>	H2	

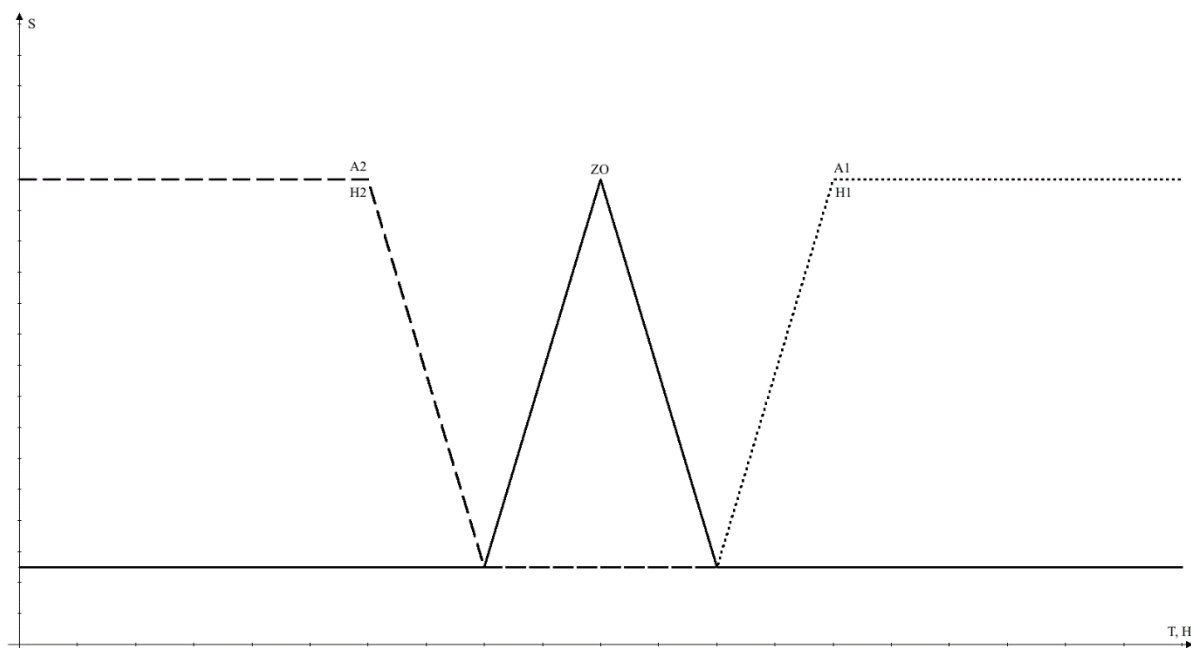


Рисунок 3.3 Функції приналежності при рівнозначній зміні температури та вологості

### 3.3. Оцінка ефективності роботи та порівняння з традиційними регуляторами

Проведення аналізу та оцінка ефективності роботи пристрою є достатньо складним, багатоаспектним та багатofакторним дослідженням. Люди звикли до того, що більшість фізичних параметрів, які змінюються під час використання приладів, оцінюються за кількістю затраченої для цього енергії та отриманому корисному результату. Для кількісної оцінки функціонування приладів введено поняття коефіцієнт корисної дії, що визначається відношенням виконаної роботи до загальних енергетичних витрат на її виконання.

Методика підрахунку витрат для досягнення бажаного фізичного впливу, на перший погляд, достатньо проста. Визначаються виконавчі механізми, які використовуються та розраховується коефіцієнт корисної дії для режимів, в яких вони працюють. Далі отримані дані вносяться до таблиці в якій, встановлюється відповідність між потужністю та енергетичними затратами. На наступному етапі, відповідно до обраної системи керування та



керуючої функції, здійснюється обчислення часу, під час якого виконавчий механізм працює і, відповідно, яку кількість енергії він при цьому споживає. Важливим є рівень продуктивності роботи пристрою та доцільність створення даного ефекта. Варто додати, що дані розрахунки є достатньо універсальними в теорії, але практична реалізація їх надзвичайно індивідуальна. Тобто, для однієї і тієї ж системи керування, яка працює за лінійними принципами в різних приміщеннях, за умови однакових виконавчих механізмів, спостерігаються різні значення витрат для створеного відповідного ефекту. Розмір приміщень та потужність виконавчих механізмів в системах контролю мікроклімату відіграють дуже важливу роль. Якщо система розроблена та змонтована без врахування розміру приміщення та мети, якої необхідно досягнути, то відповідно буде отримано результати з порівняно малими значеннями коефіцієнту корисної дії для даного впливу.

Іншим важливим фактором оцінки коефіцієнту корисної дії є експлуатація системи. Так користувач, який прагне максимально швидко створити комфортні умови, здійснює постійні налаштування та переналаштування виконавчих механізмів, надмірно збільшуючи їх енергетичні витрати. Це можна порівняти з використанням автомобіля з двигуном внутрішнього згорання. Наприклад, чим плавніше водій здійснює перемикавання передач, натискає на педалі, менше гальмує, тим самим зменшує витрати палива на одиницю пройденої відстані. Так, в протизагальмування можна навести професійні автоперегони, коли автомобілі використовуються на межі їхніх експлуатаційних характеристик. Це спричиняє необхідність дозаправок під час перегонів через те, що витрати палива на одиницю часу роботи захмарні, в порівнянні з тими, які мав би автомобіль, рухаючись по прямому автобану зі сталою швидкістю. Так і в системах керування мікрокліматом: чим стрімкіше необхідно змінити роботу виконавчих механізмів, тим нижчим буде її коефіцієнт корисної дії.

Отже, за умови плавного сталого керування людиною виконавчими механізмами відповідно заданій програмі, можливо досягнути оптимальних значень комфортних для людини та економічно доцільних відповідних їм енергетичних затрат. Система керування мікрокліматом з використанням апарату фазі-логіки має такіж самі характеристики управління. Тобто логіка роботи системи побудована таким чином, що керування та зміна керування системою здійснюються максимально плавно. Якщо побудувати функцію керування виконавчими механізмами, що характеризується високою періодичністю, то відповідна їй подібна система з використанням нечіткого регулятора буде гарантовано значно плавніше регулювати навантаження. Різниця полягає в тому, що сам принцип функціонування нечіткого регулятора не передбачає можливості різких змін регулювання, оскільки частини фазифікації та дефазифікації є функціями, які є досить стабільними і їх зміна можлива у достатньо тривалому проміжку часу. Тобто система не матиме різких змін в керуванні і відповідних перерегулювань виконавчих механізмів.

Отже, система керування мікрокліматом приміщень з використанням фазі-логіки є більш ефективною в порівнянні із звичними лінійними системами керування, а під час довготривалої експлуатації у сукупності з більш плавною зміною керуючих функцій при інших рівних умовах, матиме не гірші, а за певних умов і кращі показники корисної дії у порівнянні з аналогічними система без нечіткого регулятора.[47]

## РОЗДІЛ 4 СТВОРЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

### 4.1. Принципи розробки програмного забезпечення нечіткої системи керування

Для побудови системи керування мікрокліматом приміщень з використанням нечіткої логіки перш за все постало питання розгляду апаратних засобів для реалізації ідеї.

Для реалізації задач керування нечіткою логікою на сучасному етапі, існують спеціалізовані модулі фазі-логіки. Проте, одразу був виявлений їх недолік: відсутність на сьогодні даних модулів у доступному вигляді. Тому було запропоновано використовувати інші варіанти чітких систем, на базі яких емулювати, в тому числі, сам нечіткий регулятор. Для початкової моделі для реалізації задач є можливість вибору з декількох неспеціалізованих основних варіантів керування з побудовою нечіткого регулятора. FPGA матриці, перше, що може стати обраним для ролі центрального органу керування системи. Дані матриці насправді є універсальним полем, на якому можливо створювати власні процесори, мікроконтролери, моделювати зовнішню обв'язку і тому подібне. Однак дані їх переваги і є їх недоліками – як правило, вони коштовні у проєктуванні, оскільки хоч і запрограмована плата має порівняно невелику вартість, ціна плати підтримання або відладки-розробки та програмування сягає сотні доларів, що точно не підходить для варіанту доступного простому споживачеві та конкретно у нашому випадку. Наступним з огляду існуючих рішень можуть стати CPU процесори, які є основними елементами в системах керування пристроїв, які розробляються нині. Процесори оброблюють величезні масиви інформації, тому поширені в комп'ютерній, мобільній, побутовій та промисловій техніці. Однак в них є один суттєвий недолік – це те, що кожен процесор розробляється власне корпораціями та надається користувачеві вже у готовому вигляді. Переважно дані процесори з заводів

йдуть захищені виробниками від копіювання та модифікації, що не підходить для варіанту побудови експериментальної моделі. Також суттєвим недоліком є те, що плати під процесори виготовляються багатошаровими, і є порівняно дорогими. У разі пошкодження внутрішніх доріжок або за необхідності внесення змін, це стає практично неможливим. Іншим рішеннями, надзвичайно поширеними нині, стали мікроконтролери. З кожним поколінням дані компоненти мають можливості по обрахунках масиву даних, які можуть наближатися до рівня процесорів, в той же час мають в своєму кристалі додаткові таймери та пам'ять необхідну для підключення додаткових модулів та компонентів, здійснення програмування та відладки. Додатково варто зауважити, що варіанти мікроконтролерів дозволяють підібрати такі корпуси, які були б одночасно як легко змонтовані без використання складного промислового обладнання, так і мати надзвичайно малі габарити та стійкість до впливу зовнішніх факторів. Вибір мікроконтролера полягає в першочерговому визначенні типу ядра, можливості масштабування проекту для розширення версії, можливості підібрати простіший варіант для комфортного спаювання. Не менш важливим є економічний фактор. Вибір полягав між мікроконтролерами сімейства PIC, Atmel, ST, NXP і їм подібним. Зважаючи на основні можливості кожного з виробників, для нашого проекту найцікавішим є продукція компанії STMicroelectronics. Дана компанія перебуває на стадії стрімкого розвитку та постійного оновлення розробок, розширення основних лінійок власних мікроконтролерів. Ця компанія надає можливість безкоштовно використовувати їх власні середовища розробки, спеціалізовані ІЕЕ та засоби для програмування та відладки. Робота з професійним середовищем розробки полягає у використанні автоматизованих програм та програмного забезпечення, яке дозволяє навіть новачкам відносно легко створювати свої власні проекти на базі основної нині бібліотеки HAL. Для задачі, яка поставлена нами до проектного модуля, є наявність власного резонатора та можливість підключення зовнішнього, порівняно висока задана

частота роботи, можливість переносу проекту на мікроконтролери старшої версії та старших лінійок. Разом з цим саме в даних моделях з Cortex M0 можна знайти мікроконтролери з достатніми можливостями для виконання завдання побудови модуля в корпусі TSSOP-20, який порівняно легко як монтувати, так і демонтувати навіть новачкам в електроніці. Даний варіант вибору, з економічної точки зору, обумовлений доступністю мікроконтролерів. Наш вибір зупинився на мікроконтролерах типу STM32F030x4 – а саме STM32F030F4P6. Дана версія мікроконтролера підтримує основні види протоколів передачі даних для порівняно простих елементів обв'язки та дисплеїв. Дані мікроконтролери виготовляються в тому числі в корпусі TSSOP-20, який відносно просто монтувати, в його обв'язці необхідними фактично є лише декілька конденсаторів поруч з виводами живлення, та відповідно комплекти резистора та конденсатора для задання режимів на BOOT та NRST. Для його живлення необхідно використовувати рішення по живленню постійною напругою з лінією + 3.3 В, формування за допомогою лінійного стабілізатора живлення типу AMS1117-3.3. Даний стабілізатор є досить цікавим для рішення, оскільки фактично він, як зменшує залежність +5 В від стабільного джерела, так і підготовлює напругу +3.3 В – рівня, достатнього для побудови 12-бітного АЦП за необхідності. Також його аналогом може бути LM1117-3.3, який випускається в тих же корпусах і утримує максимальний вихідний струм на рівні 0.8 А (згідно даних виробника). Цей тип мікроконтролеру має порівняно мале енергоспоживання, сумарно менше 100мА (за даними виробника). Реально AMS1117-3.3 здатний працювати на вихідний струм до 1А. Тобто живлення мікроконтролера та обв'язки буде легким навантаженням, тому лінійний стабілізатор працюватиме в оптимальному режимі та відповідно достатньо довговічно.[48]

Важливою частиною розробки програмного забезпечення є вибір та створення тестової платформи, для цього здійснений огляд можливих джерел живлення схеми. В той же час, якщо поглянути на необхідні рівні вихідної

напруги для елементів системи керування мікрокліматом, такі як реле, то керуюча напруга на них має бути не нижчою за +5 В. З оглянутої лінійки мікроконтролерів, які можливо використовувати, основними напругами є +3.3 В у його межах, так і +5 В. Більшості датчиків з оглянутих, для живлення необхідно або +5 В, +3.3 В або більш низькі напруги при достатньо невеликих потужностях. При проектуванні тестової платформи варто зважати на досвід використання найбільш популярних на даний час плат та електронних конструкторів, та їхньої структури, використовуваних топологій та фізичних рішень, проте тестова плата має дати змогу реалізувати нечіткий регулятор в межах визначених умов. Зважаючи на всі вказані фактори, було обрано вхідну напругу для тестової платформи +5 В. Використання даної напруги дозволить забезпечити живлення від двох найбільш поширених елементів таких як: пристроїв з USB – роз'ємом, так і простих блоків живлення.

Джерела живлення для розробки можуть бути різноманітними, оглянемо основні з них:

Огляд стандартних роз'ємів USB:

- USB 1.0, USB 1.1 — до 150 мА при 5 В (0,75 Вт) – практично нині не зустрічаються;
- USB 2.0 — 5 В до 500 мА (2,5 Вт);
- USB 3.0 — 5 В до 900 мА (4,5 Вт);
- USB 3.1 Current1 1,5 А — 5 В до 1,5 А (7,5 Вт);
- USB 3.1 Current2 3 А — 5 В до 3 А (15 Вт);
- USB 3.1 (з підтримкою Power Delivery 2.0) і в залежності від того, який Profile:
  - Profile1 — 5В 2А (10 Вт);
  - Profile2 — 5В 2А, 12В 1,5А (18 Вт);
  - Profile3 — 5В 2А, 12В 3А (36 Вт);
  - Profile4 — 5В 2А, 12В, 20В 3А (60 Вт);
  - Profile5 — 5В 2А, 12В, 20В 5А (100 Вт);

Зауважимо, що найдоцільніше використовувати для тестів найбільш поширені нині USB 2.0 або USB 3.0 роз'єми яких мають спеціальну підготовку до віддачі нештатних 1.5 А. Даний список був би неповним без згадування про USB-C, точніше про те, що це є однією з версій USB 3.1. Варто згадати також про те, що реально всі порти як в комп'ютерах, так і ноутбуках, як правило, мають захисні мікросхеми ліній даних та стабілізований вихід, який здатний убезпечити основний пристрій у разі несправності на нашому макеті, тобто захисні діодні збірки убезпечують як самі лінії даних від випадкового потрапляння на них високої напруги живлення, так і від коротких замикань, які будуть виявлені, а роз'єм знеструмлений. Також нині широке поширення мають, так звані, повербанки – пристрої, які використовуються для підзарядки мобільних телефонів, що одразу сконструйовані на віддачу відносно великих струмів до 2 А, на розряджені акумулятори телефонів.

Окремо існують також блоки живлення для телефонів та спеціальні малопотужні промислові блоки живлення, які використовуються зазвичай в системах зв'язку та відеоспостереження.

Якщо з зарядними пристроями практично все зрозуміло, в більшості з них використовується однопівперіодна схема випрямляча з трансформаторною розв'язкою вторинного кола, і в своїй більшості вони не мають гарних показників по коефіцієнтам корисної дії, стабілізації навіть вихідної напруги. Від надмірних стрибків по струму зазвичай ці пристрої не захищені навіть запобіжником. Цікавим варіантом схеми живлення є використання професійних або промислових блоків живлення, наприклад, огляд одного з найбільших виробників, які, маючи світове ім'я, залишаються поширеними та доступними на більшості континентів світу. Наприклад, найменш потужна версія в робочій напрузі + 5 В: NES-15-5 та RES-15-5, які ззовні відрізняються лише габаритами та здатні утримати + 5 В при 2.8 - 3.0 А в довготривалому режимі роботи, забезпечуючи універсальний вхідний діапазон вхідних напруг від 85 до 264 В, захист від короткого замикання,

перевантаження як по струму так і по напрузі, перегріву, працюють з використанням повітряного охолодження, гарантією виробника, що блок протестований на повне навантаження. Зауважимо, що в режимі холостого ходу споживання блоку живлення менше 0.5 Вт. Робоча температура електролітичних конденсаторів гарантується в межах до  $+105^{\circ}\text{C}$ , а сам блок має робочу температуру до  $70^{\circ}\text{C}$ , захист від вібрацій 5G та захист від перевантаження вхідної напруги в 300 В протягом 5с. Стандартний ряд блоків живлення даної компанії починається від десятків ват до декількох кіловат.

Якщо окремо оглянути пристрої, які мають необхідну напругу для живлення та здатні утримувати струмове навантаження, то насправді виявиться, що це не лише лабораторні джерела живлення, а й велика кількість побутових пристроїв. Найпоширенішими з них є роз'єми персональних комп'ютерів, ноутбуків, планшетів, зарядок телефонів, павербанків у LAN лініях та навіть на зупинках громадського транспорту. З оглянутих готових рішень зрозуміло, що, наприклад, для тестового варіанту навантаження буде достатньо рівня утримування в 1.1 А, що є далеко не максимальним рівнем струмового навантаження в наявних нині пристроях, які можливо використовувати.

Наступним етапом є вибір додаткової обв'язки, в тому числі моніторів. Нині доступним і масовим датчиком вологості та температури є елемент типу DHT11, DHT21, DHT22 та інші. Дані компоненти мають специфічний варіант виконання. Окрім чисто аналогового варіанту, ще й з гібридним аналогово-цифровим перетворювачем, який вмонтований вже на модулі датчика. Зв'язок з мікроконтролером здійснюється по одній лінії даних, даний модуль працює на напругах як  $+3.3\text{ В}$ , так і  $+5\text{ В}$ . Проте доцільно його використання саме на лінії живлення  $+5\text{ В}$ , щоб збільшити його можливості більш точного вимірювання, як температури так і вологості, в межах яких даний модуль може здійснювати вимірювання. Для захисту мікроконтролера можна застосувати



схему перетворення рівнів логічного сигналу з + 3.3 В мікроконтролера до + 5 В датчика, та в зворотньому порядку.

Ми зупинилися у виборі типу виведення інформації на дисплей. Оскільки лише він дозволяє виводити необхідну інформацію про роботу приладу, з комфортом переглядати необхідну інформацію, яку вводимо в систему за допомогою клавіш та дає можливість підібрати елементи з мінімальним енергоспоживанням. Існують кілька основних типів дисплеїв, які є водночас і доступними, і достатньо поширеними та сумісними в використанні з мікроконтролерами STM.

Вибір починався з найпримітивніших, найдешевших та найкомпактніших. Першим кандидатом був дисплей типу LCD 1602, який належить до сімейства дисплеїв з можливістю виводити як символну, так і числову інформацію, у визначеній кількості знаків, а саме в розшифровці 16 - кількість символів у горизонтальній площині (зазвичай від 8 до 20), далі 02 - кількість символів у висоту, тобто 2 (зазвичай виготовляються від 1 до 4 рядкових варіантів). Загальний вигляд типового представника зображено на рисунку 4.1.

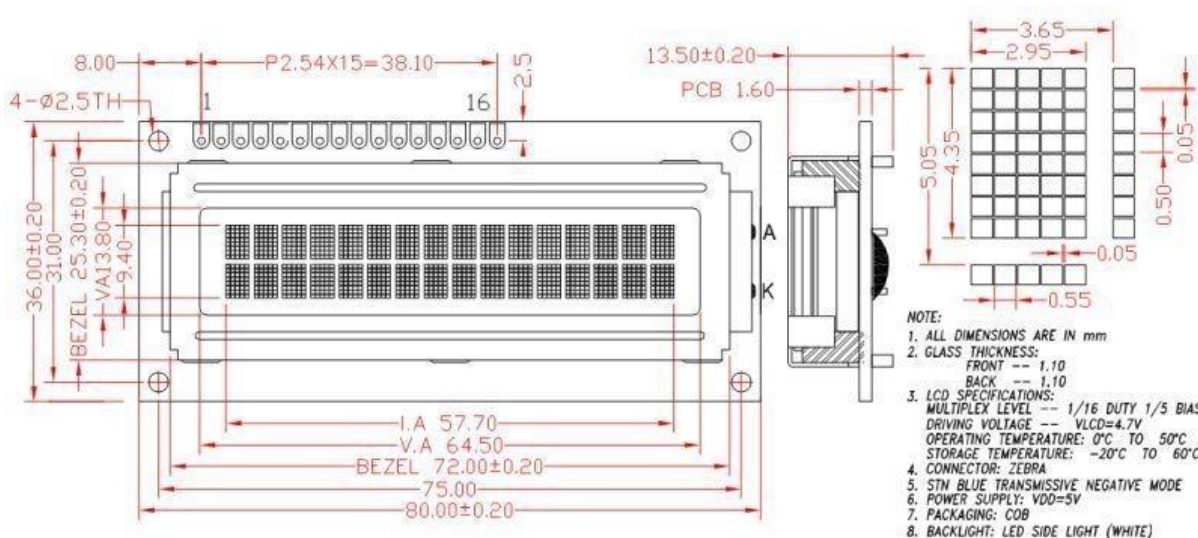


Рисунок 4.1. Габаритна схема LCD 1602

На даному рисунку видно, що для підключення плати можливо використати 16 виводів. Варто зауважити, що 14 виводів відповідають за

живлення плати керування, яка, як правило складається з мікросхеми типу HD44780, даний модуль працює від напруги + 5 В, для живлення від +3.3 В необхідна додаткова мікросхема перетворювача. Наступні два виводи відповідають за підсвітку, вимагають окремого живлення з регулювання – як правило, через потенціометр. Можливі різноманітні кольори підсвітки та відображення на дисплеї. Окремою особливістю є можливість підключення по двотиповому інтерфейсу на 4 або 8 виводів, для підключення з використанням, наприклад, інтерфейсу I2C необхідно використання додаткової проміжної плати. Дана особливість також і з відносно великим габаритами та енергоспоживанням та несумісністю логічних рівнів не дозволила нам зупинитися на даному варіанті.

Наступним варіантом були різноманітні TFT дисплеї, які мають достатньо велику різноманітність у плані кольорових, сенсорних та графічних модифікацій. Велика їх різноманітність дозволяє їх використовувати в багатьох сферах приладобудування. Їх переваги полягають у тому, що стандартні TFT-LCD модулі малих та середніх розмірів випускаються з діагоналлю від 2.4' до 12.1' дюймів. Вони відрізняються високою контрастністю, зазвичай є кольоровими, відповідають міжнародним промисловим стандартам, виготовляються у версіях сенсорного екрану – як резистивного, так і ємнісного. Проте мають один серйозний недолік – високу ціну та малу поширеність у вигляді запасних комплектуючих.

Ще одним типом дисплеїв є OLED дисплеї та OLED модулі, які в свою чергу розрізняються на символні, графічні та панельні. Нині такі модулі широко застосовуються у портативних пристроях, електронних сигаретах, побутовій техніці домашнього застосування, виробничому приладобудуванні, автомобілебудуванні, у вимірювальних приладах, амперметрах, зовнішніх жорстких дисках, принтерах. Їх основні переваги:

- висока швидкість відгуку;

- широкий кут огляду – більше  $150^{\circ}$ ;
- плоскі, не потребують додаткової підсвітки;
- мають порівняно високу яскравість;
- високий коефіцієнт контрасту в межах 2000::;
- широкий діапазон робочих температур;
- гарну читабельність навіть при сонячному освітленні;
- ультранизьке енергоспоживання.

Наш вибір зупинився на OLED дисплеї малого розміру 0.96' який виготовляється у варіанті з використанням вбудованого інтерфейсу I2C, головним керування з використанням SSD1306. Вигляд типового модуля зображено на рисунку 4.2.

Дані модулі живляться від напруги +5 В та +3.3 В, якщо живлення рівне 5 В, то воно знижується лінійним стабілізатором до 3 В. Дані дисплеї сумісні з обраним нами мікроконтролером та вимагають лише 2 виводів для керування дисплеєм. Вони відрізняються зазвичай тим, що бувають однокольоровим, або зі смугою жовтого кольору зверху. Основними кольорами є синій та білий. Дані модулі є достатньо компактними, поширеними, з малим споживанням струму, який прямо залежить від кількості ввімкнутих світлодіодів. У випадку пошкодження такий дисплей достатньо просто демонтувати та встановити новий. Вони поширені в побутовому використанні радіолюбителями, тому в загальнодоступних місцях є достатньо інформації про дані модулі.

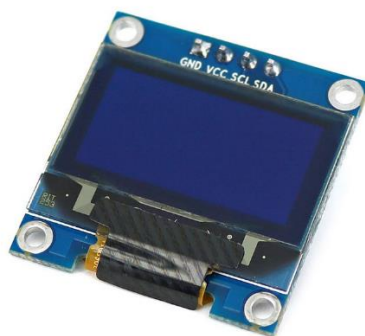


Рисунок 4.2. OLED модуль типорозміру 0.96'

Отже, зважаючи на обраний нами модульний ряд, було запропоновано створення модуля у вигляді двосторонньої друкованої плати, на якій з одного боку розташовуються всі необхідні компоненти та обв'язка, а з іншого боку передбачений монтаж OLED дисплея з кнопками – клавіатурою.

В результаті прийнятою для побудови програмного забезпечення стала схема тестовго макету рисунок 4.3.

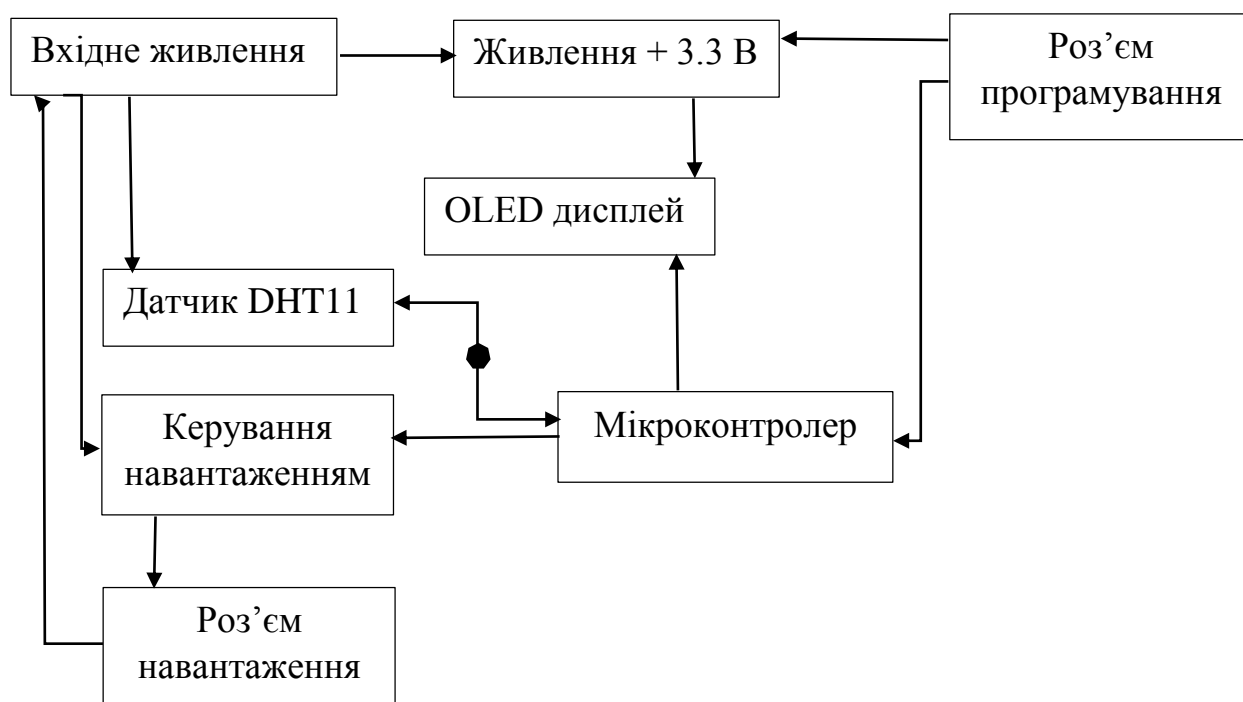


Рис.4.3 Загальна структура дослідного зразка

Вхідне живлення являє собою 2-вивідне підключення для + 5 В. Живлення +3.3 В являє собою AMS1117-3.3 з симетричною обв'язкою з 2 конденсаторів: керамічного 0603 на 100 нФ X7R та танталу в Case B на 10 мкФ при 10\16 В. Роз'єм програмування являє собою 4-вивідне підключення з стандартним набором SWD роз'єму. Датчик DHT11 розміщено на модулі для зв'язку, з яким необхідно одна лінія даних та живлення + 5 В та землі, також лінія даних має логічний повторювач, побудований на використанні транзистору BSS138. Для OLED дисплею необхідно дві лінії даних з

мікроконтролера та живлення + 3.3 В та землі. Мікроконтролер має зовнішній кварцевий резонатор QSMB KX-X 20.000, кожний вивід якого під'єднано на землю за допомогою двох конденсаторів на 18 пкФ типу C0G(NP0) компанії Samsung. Керування навантаженням здійснюється за допомогою оптопар типу PC817B, за допомогою якої відкривається MOSFET-транзистор типу IRLML0030, який фізично є ключем, що створює контур протікання струму до навантаження вхідної напруги.[49-57]

Принципова схема макету, створена в САПР, має вигляд, наведений на рис.4.4. [58-60]

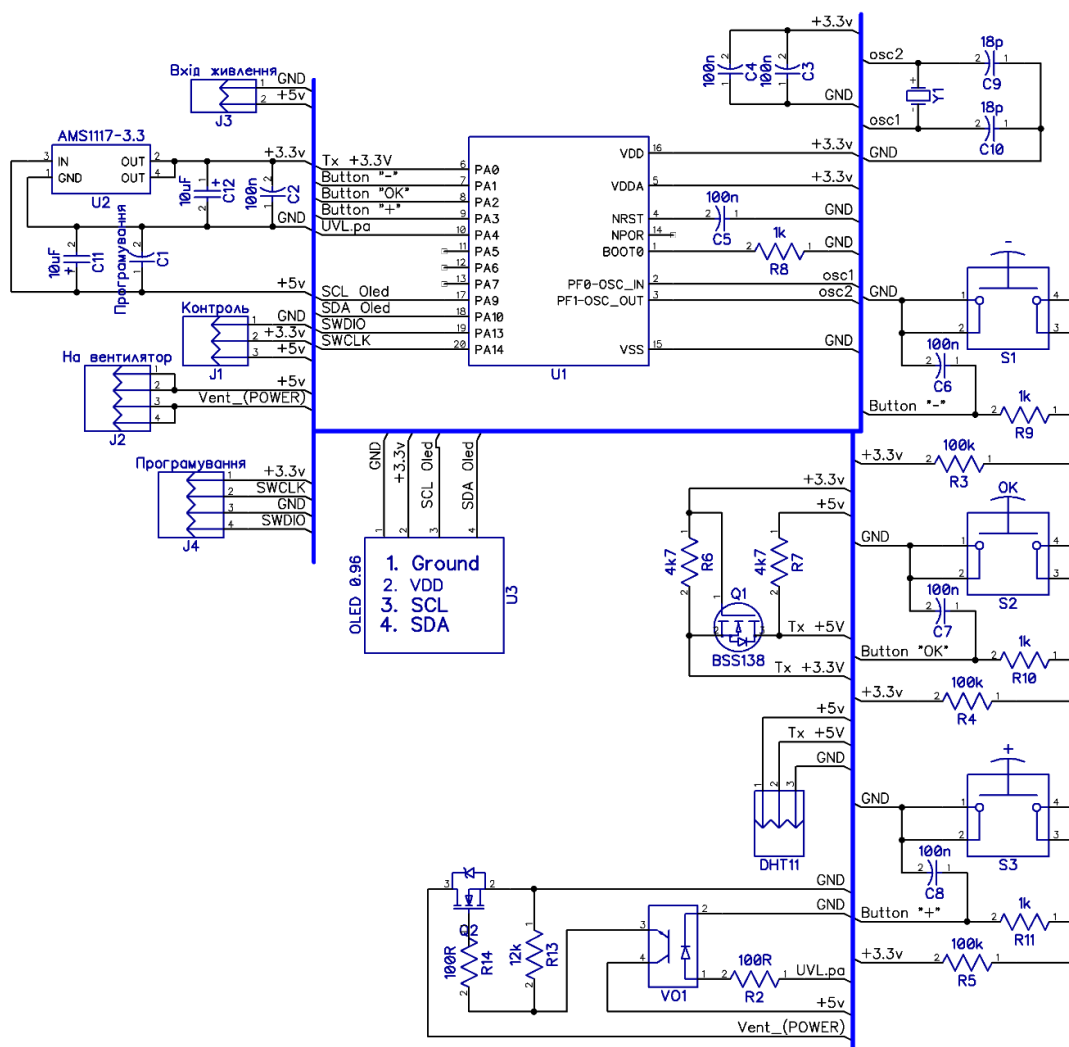


Рис.4.4. Принципова схема дослідного зразку в САПР

Зображення верхнього та нижнього шару плати наведено на рис.4.5.

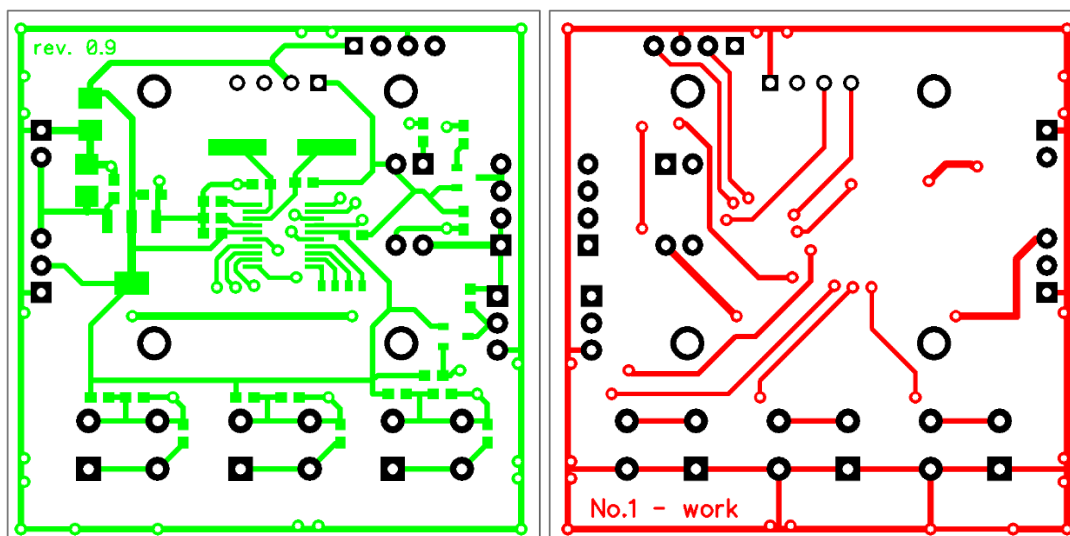


Рис. 4.5. Зображення верхнього та нижнього шару друкованої плати

Габаритні зовнішні розміри плати під обрізку складають 50 на 50. Програма для тестування досить проста. Після монтажу конденсаторів та лінійного стабілізатора AMS1117-3.3 необхідно перевірити на відсутність закоротки 3 точки під входним 2-вивідним роз'ємом живлення. З топології видно, що + 5 В, + 3.3 В, та Земля мають бути незакорочені. Далі подається на вхід живлення + 5 В, в точці з + 3.3 В через 30 секунд після подачі живлення має бути стабільна напруга. Тестування на наявність закорочення та оцінку напруги рекомендовано здійснювати універсальним мультиметром. Після остаточного монтажу та збірки всіх компонентів, окрім дисплею та клавіш, необхідно здійснити очищення плати від залишків флюсу та забрудників. Далі виконується монтаж клавіш і підключення роз'єму для програмування. Після підключення програматора до роз'єму він має ідентифікуватися в середовищі ІЕЕ, тобто в програмі uKeil, у розділі програмування, має з'явитися змонтований мікроконтролер. Після цього можна завантажувати тестову прошивку перевірки працездатності клавіш та каскаду керування навантаженням. Для цього для зручності варто помістити в якості навантаження світлодіод.

Отже, в процесі роботи було пророблено варіант створення програмного забезпечення нечіткої системи керування на базі стандартних контролерів. Для даних контролерів спроектований тестовий стенд, та відповідно створений зразок для його виготовлення. Також, здійснено підготовку для замовлення можливих комплектуючих даного зразку, зважаючи на реальні техніко-економічні особливості.

#### 4.2. Блок-схема алгоритму програмного забезпечення

Схема алгоритму функціонування нечіткого регулятора зображена на рисунку 4.6. Центральним елементом представленим на ньому є мікроконтролер. Для забезпечення сталої роботи компонента в режимі мікроконтролера, окрім живлення його цифрової та аналогової частини, також розміщена обв'язка з конденсаторів та резисторів, які задають режим роботи Boot та Nrst. При проектуванні встановлений зовнішній кварцевий резонатор з двома стабілізуючими конденсаторами.

Для програмування дослідного зразка передбачений роз'єм програмування типу SWD. До мікроконтролера надходять дві лінії даних SWCLK та SWDIO і спільне живлення з програматором.

Дані про температуру та відносну вологість надходять з датчика, пов'язаного з контролером однією лінією даних. В обв'язці мікроконтролера наявні виведення 5 площадок для підключення додаткових функцій. Також, побудований силовий каскад керування для одного з функціональних виходів контролера. Для оперативного введення інформації передбачено 3 клавіші, які використовують відповідні виходи мікроконтролера.

Для виведення даних передбачено використання лінії I2C, відповідно лінії даних SCL та SDA з їх живленням на модуль дисплею.

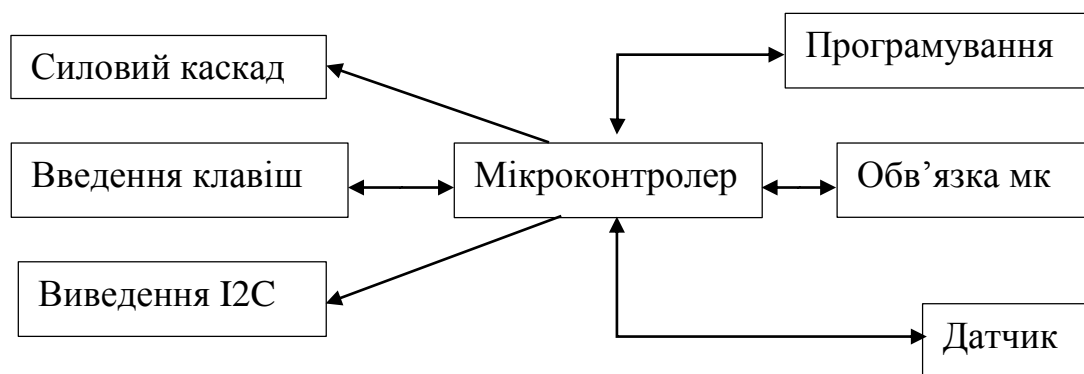


Рисунок 4.6 Блок схема зв'язків

Відповідно специфікації кожна з ліній обміну даними, що відповідає схемі, забезпечує односторонню передачу даних шляхом виведенням на силовий каскад керування та дисплей. Всі інші лінії передачі даних є двонаправленими.

Сам алгоритм, з моменту вмикання живлення, має таку структуру: вмикання пристрою та ініціалізація обладнання, збір інформації, переробка інформації, видача команди, накопичення даних.

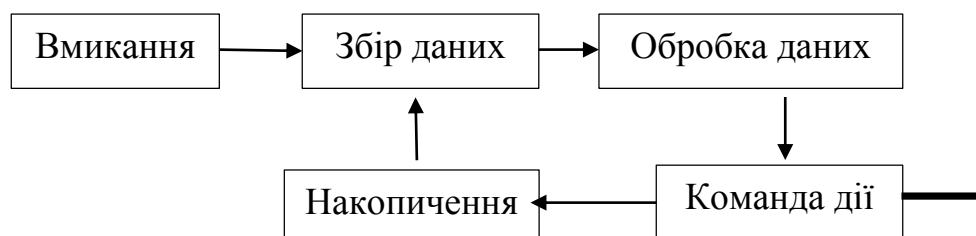


Рисунок 4.7. Алгоритм функціонування зразка

Під час вмикання живлення +5 В, починає працювати перетворювач напруги, надходить живлення на мікроконтролер та дисплей. На датчик надходить живлення та починається підготовка до обміну даними між ним та контролером. Одночасно відбувається завішення дисплею зображенням на час вмикання та збору інформації. Живлення, яке надходить на контролер, запускає генератори, відбувається ініціалізація датчика та дисплею, перевірка стану ліній програмування та кнопок введення. Відповідно, в початковий



момент часу, формується рівень логічного нуля на вихідній лінії навантаження та керування. Поява на дисплеї інформації про температуру та відносну вологість є індикатором того, що всі підсистеми наявні та готові до роботи.

Під ініціалізацію підсистем розуміється перевірка логічного рівня напруги на лінії даних з клавіш, задання лінії перезавантаження мікроконтролера та відповідно перевірка підключення зовнішнього програматора. Відбувається обмін пакетами інформації між мікроконтролером та датчиками температури та відносної вологості, здійснюється передача даних для виведення зображення на дисплей. В програмі актуалізуються відповідні змінні, такі як значення температури та відносної вологості, таблиці перетворень та уточнених значень векторів керування. Ініціалізація є важливим етапом підготовки до роботи всієї системи.

На наступному етапі відбувається збір даних з датчика температури та відносної вологості. Варто зауважити, що сигнали завантаження, від кнопок та SCL клок сигнал відбувається постійно як переривання. Далі дані про температуру порівнюються відповідно до активної функції приналежності та потрапляють у цикл правил. Таблиця правил представлена циклом з описом всіх можливих комбінацій, складених попередньо.

Після цього, отриманна змінна в блоці дефазфікації за допомогою функції приналежності актуалізується у відповідну команду увімкнення або вимкнення відповідного виконавчого пристрою. Перетворення закінчується періодичним внесенням у постійну запам'ятовуючу пам'ять скоректованих змінних даних або, за необхідності, актуальних налаштувань режимів.

#### 4.3. Реалізація в програмному середовищі CubeMX для Keil

Після здійснення розробки та планування проекту, для реалізації в якості програмного продукту компанією STM створюється спеціалізоване програмне

середовище для проектування. Компанією, за замовленнями іншим підрядним організаціям, було створено та продовжує покращуватися та розвиватися повний програмний пакет для створення, програмування, відладки, компілювання та програмування всіх мікроелектронних продуктів компанії та партнерів.

Під програмами для створення розуміється CubeMX. Практично будь-яке програмне забезпечення може отримати будь-який користувач продукції, який зареєструється на сайті. Після реєстрації є можливість вільно скачати дистрибутив, після встановлення якого відбувається автоматичне оновлення актуальних версій бібліотек. В минулому компанією підтримувалося кілька напрямків розробок відповідних драйверів до кожного класу продукції. Відносно нещодавно було прийнято рішення про створення єдиної бібліотеки драйверів, яка мала б уніфікувати всі можливі програмні рішення до всіх продуктів компанії та партнерів. Так з'явилася HAL бібліотека. В процесі використання CubeMX встановлюється конкретний дистрибутив для відповідної лінійки продукції.

Після того, як весь дистрибутив встановлено, починається процес вибору необхідного продукту, відповідної версії компанування, корпусу та інших параметрів. Є можливість одразу отримати та перевірити наявну документацію на виріб. Після вибору конкретної моделі, відбувається процес довштновлення дистрибутиву для обраної моделі. Після цього в новому проекті є можливість відлаштувати підключення зовнішніх компонентів обв'язки, таких як, наприклад, кварцевий генератор в графічному вигляді. В окремих закладках зібрані налаштування генераторів та преривань. Для здійснення контролю за розподілом навантаження інформаційних потоків та можливості роботи на відповідних частотах в графічному вигляді відображаються можливі комбінації потоків.

В момент виконання пін-менеджменту є можливість сформувати карту з'єднання та, за необхідності, у випадку можливості перетрасувати виводи та

виконувати блоки на платі для оптимізації розведення плати. Після того, як всі необхідні лінії даних відмічені на плані, здійснене налаштування частотних характеристик та, за необхідності, підлаштування інтерфейсів, проект можна сформувати.

Головне завдання даної програми полягає в тому, щоб створити початковий етап програмного забезпечення для робіт по розробці програми керування. Програма в автоматичному режимі створює ієрархію проекту, HAL бібліотеки для конкретної моделі, здійснює налаштування внутрішніх генераторів, ініціалізування функцій, вивід необхідного коду. Дерево проекту є чітко структурованим, в ньому містяться файли як з самими програмами, так і з драйверами. В тілі основної функції передбачені спеціальні частини коду з технічною інформацією про налаштування, розпіновку виводів і тому подібне. Так і місця для коду розробника. В подальшому, використання даної структури та програм дозволить з високою ймовірністю, в надзвичайно короткі терміни перенести розроблений проект на нову платформу, оновлену модель або більш потужну версію контролера зі збереженням всіх програмних продуктів, які були створені для попередньої версії.

Перш за все, на моделі обираються необхідні виводи та відповідний режим роботи, як показано на рисунку 4.8. На моделі мікроконтролера позначені використовувані виводи. Світло-жовтим кольором позначені виводи живлення мікроконтролера, аналогові та цифрової частини. Темно-оливковим позначені виводи перезавантаження та режиму роботи контролера.

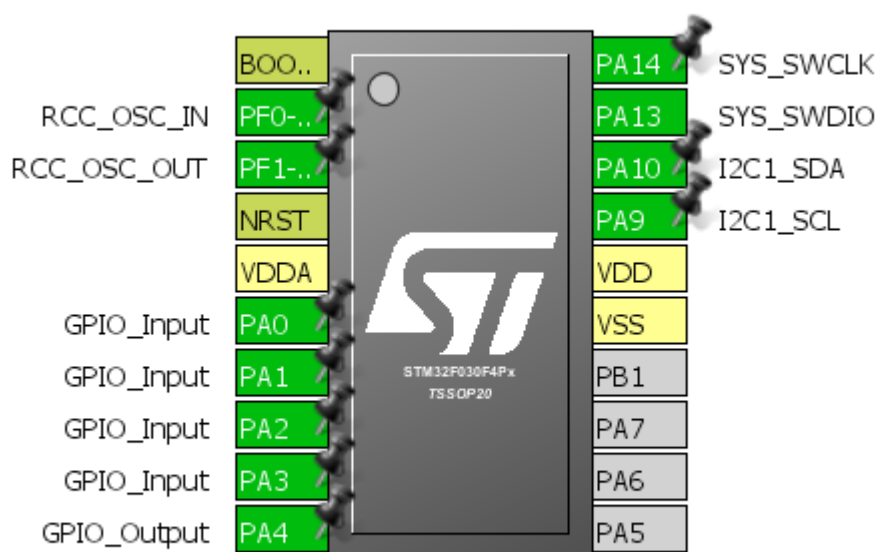


Рисунок 4.8 Модель мікроконтролера

Яскраво-зеленим відмічені обрані до використання виводи, за замовчуванням при створенні проекту вони сірі, тобто такі, що не використовуються. Поруч з кожним виводом є підпис на позначення функції, яку він реалізує, вхід або вихід цифрової частини, вихід кварцевого генератора або лінії даних протоколів обміну даними.

Для перевірки параметрів можливо також скористатися таблицею виводів, яка представлена на рисунку 4.9.

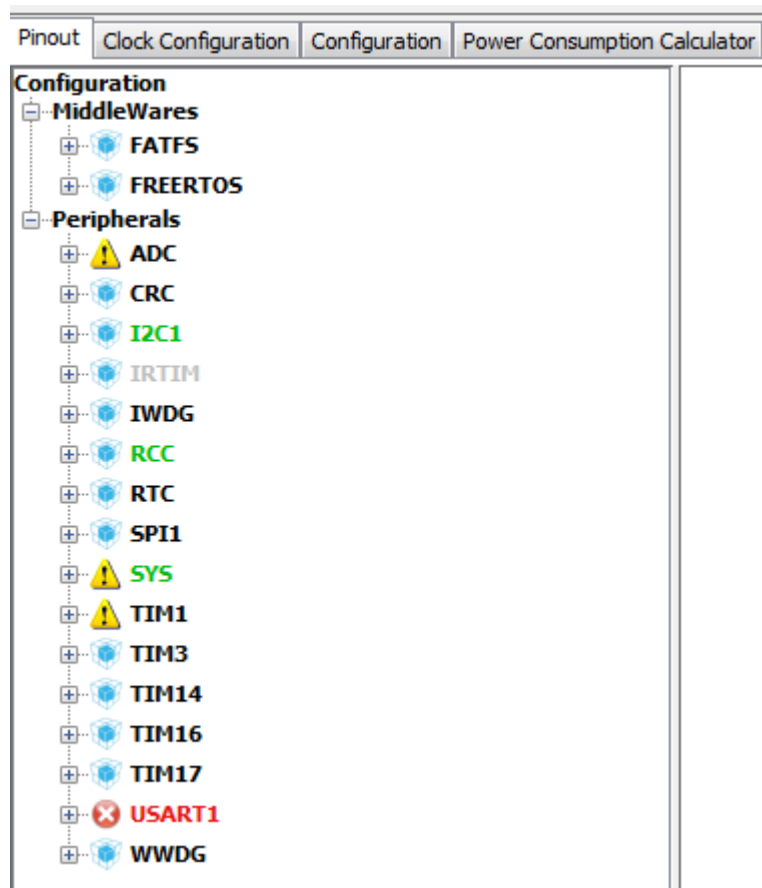


Рисунок 4.9 Таблиця виводів

На ній позначаються всі функції та периферія, яка використовується або вже не може бути використана. Наприклад, червоним показано те, що не може бути використаним, бо необхідні виводи для використання цієї функцією вже зайняті. Також, через дану таблицю можливо виставляти необхідні виводи та функції для використання і вони дзеркально змінюватимуться на моделі контролеру.

Іншим важливим пунктом є налаштування блоку конфігурацій частот, який представлений на рисунку 4.10.



В нашому випадку зовнішнім підключенням вважається лінія даних I2C на якій знаходиться дисплей. Інші виводи представлені у розділі система. Якщо б, наприклад, нами використовувалося вбудоване АЦП, то воно знаходилося б в частині аналог.

Після формування всіх необхідних виводів та налаштувань, відбувається запуск проекту і відповідно формується файл проектів з описаними вище бібліотеками.

## РОЗДІЛ 5 ПІДГОТОВКА СТАРТАП ПРОПОЗИЦІЇ

Однією з найпопулярніших нині форм створення та ведення власного бізнесу є створення так званих стартап проектів. Він відрізняється від звичних методів ведення бізнесу тим, що ідеї, які автор зміг представити, знайти кошти й інвесторів для їхнього втілення, клієнтів для реалізації та як результат залишилися на ринку є унікальними. За статистикою бізнес-інвесторів лише близько 10% стартапів перетворюються на справжній бізнес, який здатен покривати видатки та приносити прибуток своїм вкладникам. Ще приблизно до 10% відсотків бізнесу просто себе окупили та зупинилися у розвитку. Тож бачимо, що 80% всіх вдалих стартап пропозицій, які отримали кошти та інвесторів, не змогли залишитися на ринку та продовжити свій розвиток. Насправді можна багато сказати про можливі слабкі сторони ідеї, про невдалий час обраний для виходу на ринок та про інші існуючі проблеми. Наразі для всіх бажаючих створені цілі сайти, на кшталт одного з перших «Canvanizer», на якому представлений плакат формату А0. На ньому розміщено 9 основних пунктів-груп. Вони можуть повністю описати весь проект, дану «канву», яку зазвичай просять показати потенційні інвестори. Заповнивши його для, на перший погляд, непривабливого проекту з назвою «Пристрій керування мікрокліматом приміщень» авторами отримано такі результати:

- Основні партнери. Ми представили, що нашими основними партнерками можуть стати виробники систем кондиціонування та технології розумний будинок. Також нашому стартап проекту необхідні інвестори та венчорні фонди. Також необхідні будуть представники BvB та BvC, для просування по ринку. Для конкурентного масового виробництва необхідним буде мати партнерів в Китаї, які здатні



виготовляти та доставляти великі партії комплектуючих або готових виробів.

- Основні засоби. Було визначено питання: «Хто купить? Хто зацікавиться? Хто реалізує?» Оскільки маючи відповіді на ці питання, буде можливість виготовляти, реалізовувати та отримувати постійні надходження прибутків.
- Нашою головною пропозицією обрано: готові фазі-блоки системи керування та гібридні блоки у вже наявні системи керування.
- Контакт з клієнтом: прямі зустрічі з підприємствами з якими можлива синергія, SEO війни, як поширення інформації про нашу розробку. Та спеціальні пробої виробників, щоб вони могли оцінити можливості нової технології.
- Типи сегментів були обрані: бізнес, розробники, широке коло ентузіастів.
- Основними ресурсами якими володіємо: технологія створення, таблиця старіння та модернізації, наявні розробки та досвід впровадження.
- Визначеними каналами збуту є безпосередні договори з виробниками, та через бізнес представників на спеціалізованих розділах.
- Необхідними затратами визначено: затрати на фонд заробітної плати; на утримання та оренду офісів та лабораторій; витрати пов'язані з розробкою тестуванням та сертифікацією виробів, витрачені кошти для потрапляння у вищі кола бізнесу, на рекламні компанії та пробої виробників.
- Потік коштів: через продаж технології, кошти від створення індивідуальних модифікованих проектів, розробки модернізацій від існуючих клієнтів.

Тобто для того, щоб даний стартап зміг потрапити в 10% успішних бізнес рішень, необхідно було б прийняти до відома можливі труднощі, яких досить багато.

Першою з проблем є те, що, як правило з досвіду останніх років, інвестори не прагнуть вкладати кошти в розробки, які не окупаються швидко і можливо тільки з часом отримають комерційний успіх. Також, як правило, інвестри не надають кошти одному стартапу. Більш вигідно вкласти кошти в реалізацію 10 бізнес пропозицій по 25 000 доларів за розробку, ніж одразу віддати 250 000 тисяч на одну, що ще самотійно сама не отримувала прибутку.

Для демонстрації спроможності потенційно покривати видатки, необхідно було б представити приклади самотійно реалізованих проєктів, на основі яких і можливо було б знайти осіб, які б були зацікавлені у вкладанні відносно великих коштів у довготривалі розробки. Було прийнято рішення створити для прикладу невеликий тестовий макет, який би повторював всі наявні нині функції по контролю мікроклімату та який можна було б представити як електронний конструктор для пайки.

Для цього було складено формальний список тих, кого це могло би зацікавити, та хто міг би придбати даний конструктор-пристрій. Отже, застосування системи автоматичного контролю мікроклімату, а саме температура та вологості, може використовуватися у логістичних центрах, теплицях, інкубаторах, наукових й аналітичних лабораторіях, медичних закладах, на виробництвах для тонкого контролю мікропроцесів, в музеях, бібліотеках, сховищах, приміщення з різноманітним високотехнологічним обладнанням.

Для кожного з потенційних клієнтів, автором було обрано такі проблеми, які можливо вирішувати за допомогою даної розробки.

Склади, логістичні центри, приміщення для зберігання різних товарів, сховища для фруктів, овочів та інших товарів. Різні групи товарів вимагають різних температурних режимів зберігання і транспортування. Чіткий контроль

стану мікроклімату логістичних центрів та складських приміщень забезпечить збереження якості товарів, особливо це стосується продуктів харчування, ліків, а також електроніки, високоточних приладів, тощо. Система автоматичного контролю температури і вологості оптимізує енерговитрати в процесі зберігання, дозволить уникнути пошкоджень товарів, псування через неправильні температурні умови та рівень вологості.

Теплиці для вирощування квітів, овочів, саджанців, грибів, та інших рослин. Створення та підтримання оптимальних умов на різних етапах розвитку рослини – запорука гарного урожаю та оптимального прибутку від виробництва. В теплицях як правило встановлюють не тільки системи контролю вологості і температури, але й освітлення. Запропонована розробка має допомогти запобігти різким змінам фізичних параметрів середовища, допомогти підвищити врожайність і якість продукції, зменшити втрати.

Інкубатори. В інкубаторах, аналогічно як і у теплицях, використання тільки систем контролю вологості, температури без освітленості дозволить оптимізувати затрати та отримати максимальний прибуток. Система сповіщення повідомить про відхилення параметрів від норми, дозволить вчасно прийняти необхідні рішення.

Аналітичні та наукові лабораторії. Для задач генетики, мікробіології, при вирощуванні культур, для проведення різного роду експериментів, у роботі з експериментальними тваринами, та для інших задач необхідно постійно контролювати параметри середовища. Розроблена система контролю температури і вологості дасть змогу обґрунтувати і документально підтвердити умови проведення експериментів. Також для ефективної роботи та збереження працездатності високотехнологічного аналітичного обладнання, що може містити дуже чутливі до перепадів температури чи вологості елементи.

Медичні заклади, особливо палати інтенсивної терапії, операційні. Надзвичайно важливим є контроль параметрів мікроклімату у медичних

зкладах, особливо це стосується палат інтенсивної терапії з тяжкохворими пацієнтами, палат для немовлят, людей чутливих до перепадів температури і вологості. Використання систем контролю температури і вологості дозволить підтримувати найкращі санітарно-гігієнічні умови в закладі, а також створить підґрунтя для найшвидшого одужання пацієнтів.

На виробництві для контролю техпроцесів. У різних галузях промисловості є процеси, що вимагають жорсткого контролю умов середовища. Це є запорукою виробництва якісної продукції з визначеними властивостями і характеристиками. Наприклад, в тунельних печах для випалювання цегли, сушарках для деревини, хімічній промисловості, металургії тощо. Збереження електронних архівів результатів вимірювань дозволить документально підтвердити дотримання при виробництві всіх вимог, встановлених технічними умовами.

Бібліотеки, музеї, сховища культурних цінностей. Скільки безцінних історичних реліквій, картин, старовинних книг безповоротно втрачаються через неналежні умови зберігання, а це втрата цілого пласту культури, напрямку в мистецтві, втрата історичної пам'яті. Особливо гостро ця проблема виникає з огляду на погане фінансування цих закладів. Невисока ціна системи контролю температури і вологості, зробить їх доступними навіть для бюджетних організацій, а простота у монтажі не вимагає радикальних змін у приміщенні, не порушить створеної атмосфери та інтер'єру.

Приміщення, де встановлено різне високотехнологічне електронне обладнання. Надмірна вологість чи перепади температури, можуть вивести з ладу вартісне обладнання, що несе за собою великі матеріальні збитки, втрату інформації, неможливість надання послуг, а в гіршому випадку може призвести до загрози життю людей. Це і серверні, і вузли зв'язку, центри керування, тощо.

Наведені приклади лише мала частинка з того, що за планом можна реалізувати на основі відносно простих та недорогих конструкторів. Ці

пристрої мають дати перші фінансові надходження та продемонструвати іміджевий потенціал даних розробок та їх економічний потенціал.

З точки зору маркетингових методичних вказівок необхідно також:

- розробити опис самої ідеї проекту та визначити загальні напрями використання потенційного товару чи послуги, а також їх відмінність від конкурентів;
- проаналізувати ринкові можливості щодо його реалізації;
- на базі аналізу ринкового середовища розробити стратегію ринкового впровадження потенційного товару в межах проекту.

Ось основні задачі які необхідно описати з точки зору наданих необхідних економічних обґрунтувань. Також відповідно до поставлених задач необхідно продемонструвати отримані знання та вміння:

Знання:

- I. сутності та особливостей ринку інноваційної продукції, його інституціональних складових;
- II. алгоритму комерціалізації науково-технічних рішень та розробок;
- III. особливостей поведінки споживачів інноваційної продукції;
- IV. засад, етапів та принципів маркетингового ситуаційного аналізу ринку;
- V. основних груп ринкових факторів, що формують можливості та загрози для реалізації стартап-проекту;
- VI. засади пошуку інформації для проведення ринкового аналізу;
- VII. потенційно можливі джерела фінансування стартап-проекту, їх сильні та слабкі сторони;
- VIII. складові та алгоритм розробки ринкової стратегії стартап-проекту;

Вміння:

- I. використовувати ринково-орієнтований економічний підхід до вирішення науково-технічних завдань;

- II. аналізувати ринкове середовище для стартап-проектів із зазначенням факторів впливу;
- III. будувати ієрархію факторів із зазначенням сутнісних зв'язків між ними, міри та характеру впливу на стан ринку науково-технічних інноваційних розробок;
- IV. розробляти заходи з комерціалізації стартап-проекту;
- V. формувати систему складових маркетингової стратегії для стартап-проектів;
- VI. управління взаємодією учасників стартап-проекту.
- VII. визначати доцільні форми впливу стартап-компанії на ринок відповідно до проведеного аналізу стану ринку із урахуванням специфіки його функціонування.
- VIII. проводити порівняльний аналіз переваг та недоліків різних стартап-проектів.

Тож орієнтовною назвою, автором було прийнято «Пристрій контролю мікроклімату приміщень на базі штучного інтелекту»

#### Пункт 1. Опис ідеї проекту

В межах підпункту складено таблиця 5.1. Опис ідеї стартап-проекту, в якій послідовно проаналізовано та подано у вигляді таблиці зміст ідеї, можливі напрямки застосування, основні вигоди, що можливо отримати користувачеві, вказано чим відрізняється від існуючих аналогів.

Табл. 5.1.

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Використати фазі-логіку в системі керування	1. Побудова нових систем	Спрощення використання
	2. Модернізація існуючих систем шляхом додавання	Можливість отримати додатковий комфорт

Створення окремих мікропроектів	3. Розробка автономних проектів	Отримати унікальну власноруч створену розробку
---------------------------------	---------------------------------	--

Основною відмінністю від аналогів або замінників, є те, що наразі широко не використовуються дані блоки керування в масових моделях. Зроблено аналіз потенційних техніко-економічних переваг пропозиції, порівняно з пропозиціями конкурентів. Дані аналізу подані в таблиці 5.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

Табл. 5.2

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів		W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент			
1.	Ціна	Середня	Дуже висока	так	ні	ні
2.	Надійність	Так	Ні	ні	Так	ні
3.	Простота	Ні	Так	Так\ні	ні	ні
Новий пристрій або система завжди є більш складною за попередню або аналогічну, хоча може мати меншу вартість за рахунок відсутності брендованого імені.						

## Пункт 2. Технологічний аудит проекту

В межах даного пункту проведено аудит технології, за допомогою якої можливо реалізувати пропозицію. Дані представлені в табл. 5.3. Технологічна здійсненість ідеї проекту.

Табл. 5.3

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Створення блоку керування	Інженерна розробка	Наявні, необхідно доробити	Доступні авторам
2	Створення конструктору	Комерційна розробка	Наявні	Доступні, відсутні власні потужності

3	Модернізація існуючих систем	Інженерне покращення	Відсутні	Доступні, необхідно створити
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: комерційна розробка для якої наявні технології, та які доступні розробникам без великих додаткових фінансових затрат.				

### Пункт 3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначено ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволить спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозиції конкурентів.

В таблиці 5.4. Попердняя характеристика потенційного ринку стартап-проекту наведено оглянуті суттєві характеристики, з чого можемо зробити висновок, що ринок привабливий для входження за попереднім оцінюванням.

Табл. 5.4

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	Більше 100
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	4*26.1
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Коливання
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Відсутні
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Не підлягає сертифікації
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	0,23%

Далі в таблиці 5.5 Характеристика потенційного клієнту стартап-проекту визначаються потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формується орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи



Табл. 5.5

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Бажання володіти та створювати	Ентузіасти, любители або професіонали даних конструкторських наборів	Цікавість та доступність набору, його складність наявність інструкцій та вказівок	Достатній рівень якості наявність брендованих частин

Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту таблиця 5.6. Фактори можливостей, та факторів, що йому перешкоджають 5.7 Фактори загроз. Фактори в таблиці подані в порядку зменшення значущості.

Табл. 5.6

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Модернізація	Створення нового	Додаткові прибутки і розвиток
2	Унікальність	Створення власних розробок	Розвиток власного бренду та імені

Табл. 5.7

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Підробка	Привласнення розробки	Додаткові засоби оригінальності
2	Створення клонів	Клонування продукту	Відсутні, виводити новинки

Надалі проводиться аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку, які подані в таблиці 5.8. ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Табл. 5.8

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Вказати тип конкуренції - монополія/олігополія/ монополістична/чиста	Монополістична	Прямі угоди з партнерами
2. За рівнем конкурентної боротьби - локальний/національний/...	Міжнародна	Необхідна надшвидка реакція SEO
3. За галузевою ознакою - міжгалузева/ внутрішньогалузева	Внутрішньогалузева	Не впливає
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-родова - товарно-видова - між бажаннями	Між бажаннями	Не вплине
5. За характером конкурентних переваг - цінова / нецінова	Цінова	Впливає на рентабельність
6. За інтенсивністю - марочна/не марочна	Марочно	Вплив непередбачуваний

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі таблиця 5.9 аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Табл. 5.9

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Китайські виробництва	Китайські КБ	Китайські виробництва	Звичайні користувачі	Копії та підробки
Висновки:	Надвисока інтенсивність	є можливості входу в ринок є потенційні конкуренти до 2 років	Національні інтереси	Прагнуть мати мінімальну ціну	Перенасичення ринку

Товар може бути конкурентноспроможним за умови швидкого просування по ринку та забезпечення зберігання комерційної таємниці ключових комплектуючих. Складається таблиця 5.10 обґрунтування факторів конкурентоспроможності.

Табл. 5.10

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Низька ціна впровадження та цікава новинка	Вже наявні можливості, конкурентам будуть необхідні ресурси на дослідження та копіювання

За визначеними факторами конкурентоспроможності проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту, дані які вносяться в таблицю 5.11 Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту «Пристрій контролю мікроклімату приміщень на базі штучного інтелекту».

Табл. 5.11

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з ... (китайська вир.)						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3

1	Низька ціна	11					+		
2	Дешева технологія	1	+						
3	Цікава новинка	19							+

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін.

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення. Наприклад: зниження доходів потенційних споживачів – фактор загрози, на основі якого можна зробити прогноз щодо посилення значущості цінового фактору при виборі товару та відповідно, – цінової конкуренції (а це вже – ринкова загроза). Дані складають таблицю 5.12 SWOT- аналіз стартап-проекту.

Табл. 5.12

Сильні сторони: унікальність	Слабкі сторони: незахищеність
Можливості: зацікавити клієнта	Загрози: швидке клонування

На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок (див. табл. 9, аналіз потенційних конкурентів).

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів. Дані складають таблицю 5.13 альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту.

Табл. 5.13

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Впровадження проектів по модернізації в існуючі системи	Висока	До 4-9 років

#### Пункт 4. Розроблення ринкової стратегії

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів. Дані складаються в таблицю 5.14 вибір цільових груп потенційних споживачів

Табл. 5.14

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Звичайні покупці	Так	60-80%	Середня	Просто
Які цільову групу обрано: звичайні покупці					

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку. Дані зібрані в таблицю 5.15 визначення базової стратегії розвитку

Табл. 5.15

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
----------	--	------------------------------	---	-------------------------------

1	Уособлена	Одного шару	Унікальне задоволення потреби	Спеціалізація
---	-----------	-------------	-------------------------------	---------------

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки, з складанням з обраних даних таблиці 5.16 визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Табл. 5.16

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	Ні	Так	Так, комплекту	Спеціалізована

За якими пунктами споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект. Складається таблиця 5.17 Визначення стратегії позиціонування.

Табл. 5.17

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Присутні	Спеціалізація	Зацікавленість	Цікаво, доступно, якісно

## Пункт 5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Складається таблиця 5.18 визначення ключових переваг концепції потенційного товару.

Табл. 5.18

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
-------	---------	----------------------------	--

1	Новинка	Абсолютно нове	Не існує жодних аналогів на даний час
---	---------	----------------	---------------------------------------

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару, та відповідно дані вносяться в таблицю 5.19 Опис трьох рівнів моделі товару.

Табл. 5.19

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Задовольняє баження до створення та проектування нового		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Доступний	+	0,8
	2. Цікавий	-	0,4
	Якість: стандарти, нормативи, параметри тестування тощо		
	Пакування пакетне		
	Марка: назва організації-розробника + назва товару		
III. Товар із підкріпленням	До продажу надані дані про комплект		
	Після продажу можливо запитати допомогу та прошивки		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: не захищений від копіювання бо базується на наявні технології.			

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар. Зібрані дані вносяться в таблицю 5.20 визначення меж встановлення ціни.

Табл. 5.20

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	100	10	100	2.3 – 6.8

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення. Складається таблиця 5.21 Формування системи збуту.

Табл. 5.21

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Обдуманні	Повний пакет товару	Глибока	З залученням

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів. Складається таблиця 5.22 Концепція маркетингових комунікацій.

Табл. 5.22

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Обдуманні та спонтанні	Віртуальні	Унікальність, цікавість	Показати на ринку	Точкові

#### Пункт висновок.

Наявні можливості ринкової комерціалізації проекту, попит та велика конкуренція на ринку. Існують бар'єри на впровадження та проблеми пов'язані як з підготовкою комплектування та виробництвом, так і з реалізацією та забезпеченням безпеки виробництва. Після запровадження першого пункту плану доцільно перейти на альтернативний варіант впровадження розробок вже існуючих клієнтів з даною технологією.

На думку автора, подальша імплементація проекту є не лише потрібною але й необхідною як з точки зору комерційного успіху, так і загального розвитку ринку.[61-70]



## ВИСНОВКИ

В даній роботі було досягнуто мети, яка полягала в розробці системи керування мікрокліматом приміщень на базі застосування математичного апарату фазі-логіки. Робота виконана у відповідності до напрямків наукових досліджень кафедри промислової електроніки в рамках функціонування наукової школи «Теоретичні основи перетворення параметрів електричної енергії».

Було виконано таку поставлену мету як розробка системи керування мікрокліматом у побутовому приміщенні на базі нечіткої логіки, визначення можливих виконавчих механізмів для регулювання обраних параметрів мікроклімату, створення схеми системи та програмного забезпечення. Виконані задачі аналізу існуючих підходів та схем регуляторів для задачі керування мікрокліматом приміщень. Розглянуто нейрофізіологічне підґрунтя фазі-логіки та виявлено особливості застосування математичного апарату фазі-логіки у технічних системах. Здійснено аналіз теоретичних положень теорії нечіткої логіки з позицій застосування у системі керування мікрокліматом. Виконано розробку апаратної та програмної частини системи керування мікрокліматом приміщень. Визначенно інноваційну привабливість та підготовлено стартап-пропозицію за отриманими результатами розробки.

Досліджено об'єкт – процес керування мікрокліматом приміщень. В процесі виконання роботи запропоновано застосування математичного апарату фазі-логіки для вирішення задачі розробки системи керування мікрокліматом приміщень, що дозволяє врахувати у технічній системі суб'єктивні фактори сприйняття людиною параметрів оточуючого середовища та здійснено оцінку ефективності розробленої системи на підставі проведеного моделювання, що доводить переваги перед існуючими підходами.

Отримані практичні результати, а саме запропоновано підхід, який є перспективним для використання при проектуванні «розумних будинків» та електронних систем, участь у роботі та використанні яких бере людина, що обумовлює необхідність врахування суб'єктивних факторів та відчуттів. Розроблено схему та програмне забезпечення системи нечіткого керування, які є достатньо простими, мають інтуїтивно зрозумілий користувацький інтерфейс, а отже, є перспективними для практичного застосування.

Підвищений інтерес до розробки більш інтелектуальних систем керування та регулювання абсолютно виправданий, оскільки більш простий та доступний, а разом з цим людиноорієнтований інтерфейс матиме найближчим часом все більш широке коло різних споживачів. Система контролює основні метеорологічні умови мікроклімату такі як температура повітря та відносна вологість. В системі передбачено врахування дії метеорологічних чинників на процес теплообміну людини, тобто безпосередній вплив на її стан здоров'я та відчуття. Передбачені умови які необхідно виконувати для мінімізації негативного впливу метеорологічних чинників. Розроблену систему доцільно використовувати як складову частину проектів типу «розумний дім», які повністю регулюють більшість процесів у будівлях, де вони встановлені, оскільки вони дають змогу дистанційно отримувати інформацію та керувати роботою пристроїв опалення, кондиціонування, водопостачання та електронними системами у приміщенні. Оскільки запропонована система є більш простою і доступною для використання, це обумовить її широке застосування. На сьогоднішній день єдиною системою, яка здатна інтерпретувати понятійне розуміння людини в комп'ютерний код, є фазі-логіка. Розробка та впровадження в реальні системи керування електронного та електротехнічного обладнання нечіткої, або фазі-логіки, є одним із шляхів створення системи ефективного штучного інтелекту. Фазі-логіка дає можливість зробити використання електронного обладнання більш ефективним, зменшуючи витрати на експлуатацію в побуті.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вибираємо обігрівач [Електронний ресурс] // Коло : сайт. — Текст і граф. дані. — Режим доступу: <http://kolo.poltava.ua/2011/11/04/vibirayemo-obigrivach-vidi-cini-perevagi-ta-nedoliki> — Назва з екрана.
2. Як вибрати масляний обігрівач [Електронний ресурс] // СІКАВОСТІ : сайт. — Текст і граф. дані. — Режим доступу: <http://cikavosti.com/yak-vibrati-maslyaniy-obigrivach/> — Назва з екрана.
3. Який опалювальний котел вибрати для приватного будинку — порівняння настінних і підлогових пристроїв [Електронний ресурс] // Opalennya.in.ua : сайт. — Текст і граф. дані. — Режим доступу: <http://opalennya.in.ua/> — Назва з екрана.
4. Як працює тепловентилятор і які види тепловентиляторів бувають [Електронний ресурс] // Будівельний портал : сайт. — Текст і граф. дані. — Режим доступу: <http://ukr3.com/jak-pracjuje-teploventiljator-i-jaki-vidi/> — Назва з екрана.
5. Інфрачервоні обігрівачі [Електронний ресурс] // KREORA : сайт. — Текст і граф. дані. — Режим доступу: [http://www.kreora.com.ua/index.php?option=com\\_content&view=article&id=58:ufo&catid=38:statti-pro-detali-inter&Itemid=64](http://www.kreora.com.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=58:ufo&catid=38:statti-pro-detali-inter&Itemid=64) — Назва з екрана.
6. Як працює кондиціонер [Електронний ресурс] // Digi Top : сайт. — Текст і граф. дані. — Режим доступу: <http://digitop.com.ua/jak-pracjuje-kondicioner/> — Назва з екрана.
7. Кондиціонер AQV09KBBN [Електронний ресурс] // Офіційний портал : сайт. — Текст і граф. дані. — Режим доступу: [http://www.samsung.com/ua\\_ru/consumer/home-appliances/air-conditioners/wall-mount/AQV09KBBNSER//](http://www.samsung.com/ua_ru/consumer/home-appliances/air-conditioners/wall-mount/AQV09KBBNSER//) — Назва з екрана.

8. Кондиционеры с Wi-Fi управлением [Електронний ресурс] // Офіційний портал : сайт. — Текст і граф. дані. — Режим доступу: [http://ch.ks.ua/notes\\_1263.html/](http://ch.ks.ua/notes_1263.html/) — Назва з екрана.
9. Блум Ф./ Мозг, разум и поведение Блум Ф., Лейзерсон А., Хофстедтер Л.: Пер. С англ.- М.: Мир, 1988.- 248 с., ил.
10. Фазі-логіка [Електронний ресурс] // Технічна енциклопедія TechTrend : сайт. — Текст. дані. — Режим доступу: <http://techtrend.com.ua/index.php?newsid=18969> — Назва з екрана.
11. Круглов В. В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В. В. Круглов, М. И. Дли, Р. Ю. Голунов. — М. : Физматлит, 2001. — 221 с.
12. Данилова О. А. Удосконалення методів визначення варіанту відновлення схеми електропостачання споживачів в умовах нечіткості вхідної інформації : автореф . дис. ... канд. техн. наук : 04.14.02 / Данилова Олена Анатоліївна ; Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». — Київ, 2003. 20 с.
13. Іванець С. А. Імпульсні системи стабілізації постійної напруги з нечіткими регуляторами : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.09.03 / Іванець Сергій Анатолійович ; Національна академія наук України. Інститут електродинаміки. — Київ, 2006. — 20 с.
14. Кирик В. В. Регулювання та стабілізація змінних параметрів електротехнологічних систем з використанням нечіткої логіки : автореф . дис. ... док. техн. Наук : 05.09.03 / Кирик Валерій Валентинович ; Національна академія наук України. Інститут електродинаміки. — Київ, 2006. 38 с.
15. Д.А. Пospelов Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта/ Д.А. Пospelов. — : Наука. 1968 г. 312 с.
16. К. Асаи Прикладные нечеткие системы/ К. Асаи, Д. Ватада. Прикладные нечеткие системы/ Пер. с япон./К. Асаи, Д. Ватада, С. Иваи и др.; под редакцией Т. Терано, К. Асаи, М. Сугено.,” – : Мир. 1993, р. 368 с., ил.

17. Ю. К. Розанов Применение аппарата нечеткой логики для улучшения динамических характеристик гибридных фильтров высших гармоник Ю. К. Розанов, М. В. Рябчицкий, М. В. Смирнов. – : Электричество, 2007 г. № 1. – С. 23-31.
18. Іванець С.А. Нечітка система управління частотним пуском вентильного двигуна в синхронному режимі/ Іванець С.А. та Гусєв О.О. – : Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, vol. №37, 2009 г. с. 154-161.
19. С.А. Иванец Адаптивная нечеткая система управления трехфазным фильтро-компенсирующим преобразователем С.А. Иванец, А.А. Гусев. – : Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, vol. №34, 2007 г. с. 104-113.
20. Иванец С. А. Адаптивная нечёткая система управления трёхфазным фильтро-компенсирующим преобразователем/ Иванец С. А., Гусев А. А. – : Силова електроніка та енергоефективність Ч. 2: 2010 – С. 110-115.
21. W.-X. Yan Shunt active power filter line current control based on T-S fuzzy model/ W.-X. Yan, Z.-C. Ji, and J. Hui: in 2009 4th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, 2009, pp. 2241–2246.
22. S. P. K. Vanapalli Performance analysis of unified power quality conditioner controlled with ANN and fuzzy logic based control approaches/ S. P. K. Vanapalli, Satyanarayana, M. Venu Gopala Rao: Reg. 10 Conf. TENCON 2017 - 2017 IEEE, no. 2159–3450, 2017.
23. H. A. Shayanfar Self tuning Fuzzy PI controller for active filter optimized by Ant colony method/ H. A. Shayanfar and R. Navabi: in 2010 1st Power Electronic & Drive Systems & Technologies Conference (PEDSTC), 2010, pp. 351–356.
24. U. K. Renduchintala Smooth shunt control of a fuzzy based distributed power flow controller to improve power quality/ U. K. Renduchintala, Chengzong Pang, S. V. P. K. Maddukuri, and V. Aravinthan: in 2016 IEEE International

Conference on Information and Automation for Sustainability (ICIAfS), 2016, pp. 1–5.

25. G. S. Rao Implementation of fuzzy logic controller in SHPF&TCR for power quality/ G. S. Rao and Y. R. Reddy: in 2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT), 2016, pp. 2960–2964.

26. K. A. Rani Fathima Intelligent controller based three phase shunt active filter for THD reduction in non-linear load and capacitor voltage stability/ K. A. Rani Fathima and T. A. Raghavendiren: in 2014 2nd International Conference on Devices, Circuits and Systems (ICDCS), 2014, pp. 1–7

27. A. A. Rajan Fuzzy logic based three-level shunt active filter for harmonics and torque ripple reduction in brushless DC motor drive/ A. A. Rajan and S. Vasantharathna: in 2014 International Conference on Electronics and Communication Systems (ICECS), 2014, pp. 1–5.

28. S. Musa Fuzzy logic controller based three phase shunt active power filter for harmonics reduction/ S. Musa, M. A. M. Radzi, H. Hisham, and N. I. Abdulwahab: in 2014 IEEE Conference on Energy Conversion (CENCON), 2014, pp. 371–376.

29. S. Mikkili Type-1 and Type-2 Fuzzy logic controller based Shunt active filter Id-Iq control strategy for mitigation of harmonics with Triangular membership function/ S. Mikkili and A. K. Panda: in 2012 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES), 2012, pp. 1–6.

30. V. Mahajan Neural network and fuzzy logic controllers for three-phase three-level shunt active power filter/ V. Mahajan, P. Agarwal, and H. O. Gupta: in 2015 IEEE Workshop on Computational Intelligence: Theories, Applications and Future Directions (WCI), 2015, pp. 1–6.

31. B. R. Lin Current regulation with inverter drives based on fuzzy approach/ B. R. Lin and T. S. Hwang: in Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, vol. 2, pp. 815–820.

32. A. M. Kouadria Grid power quality enhancement using fuzzy control-based shunt active filtering/ A. M. Kouadria, T. Allaoui, M. Denai, and G. Pissanidis: in 2015 SAI Intelligent Systems Conference (IntelliSys), 2015, pp. 646–650.
33. P. Karuppanan PLL with PI, PID and Fuzzy Logic Controllers based shunt Active Power Line Conditioners/ P. Karuppanan and K. Mahapatra: in 2010 Joint International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems & 2010 Power India, 2010, pp. 1–6.
34. M. Jha Neuro-fuzzy based controller for a shunt active power filter/ M. Jha and S. P. Dubey: in 2011 International Conference on Power and Energy Systems, 2011, pp. 1–7.
35. S. K. Jain Fuzzy logic controlled shunt active power filter for power quality improvement/ S. K. Jain, P. Agrawal, and H. O. Gupta: IEE Proc. - Electr. Power Appl., vol. 149, no. 5, p. 317, 2002.
36. O. Husev Neuro-fuzzy control system for active filter with load adaptation/ O. Husev, S. Ivanets, and D. Vinnikov: in 2011 7th International Conference-Workshop Compatibility and Power Electronics, CPE 2011 - Conference Proceedings, 2011, pp. 28–33.
37. N. Gotherwal Performance comparison of PI and fuzzy controller for indirect current control based shunt active power filter/ N. Gotherwal, S. Ray, N. Gupta, and D. Saxena: in 2016 IEEE 1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES), 2016, pp. 1–6.
38. A. M. Fahmy 4-leg shunt active power filter with hybrid predictive fuzzy-logic controller/ A. M. Fahmy, A. K. Abdelsalam, and A. B. Kotb: in 2014 IEEE 23rd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), 2014, pp. 2132–2137.
39. A. M. Fahmy Unified fuzzy-logic based controller for dual function 4-leg shunt APF with predictive current control/ A. M. Fahmy, A. K. Abdelsalam, and

A. B. Kotb: in 2015 17th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'15 ECCE-Europe), 2015, pp. 1–10.

40. A. Elmitwally Performance evaluation of fuzzy controlled three and four wire shunt active power conditioners/ A. Elmitwally, S. Abdelkader, and M. Elkateb: in 2000 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. Conference Proceedings (Cat. No.00CH37077), 2000, vol. 3, pp. 1650–1655.

41. J. W. Dixon A fuzzy-controlled active front-end rectifier with current harmonic filtering characteristics and minimum sensing variables/ J. W. Dixon, J. M. Contardo, and L. A. Moran: IEEE Trans. Power Electron., vol. 14, no. 4, pp. 724–729, Jul. 1999.

42. A. Dell'Aquila Design of the optimum duty cycle for a fuzzy controlled active filter/ A. Dell'Aquila, A. Lecci, M. Liserre, and P. Zanchetta: in IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2000, vol. 1, pp. 78–83.

43. U. Das Gupta A fuzzy controlled shunt active power filter for reducing current harmonics and reactive power compensation/ U. Das Gupta, P. Das, and M. A. Hoque: in 2015 International Conference on Electrical Engineering and Information Communication Technology (ICEEICT), 2015, pp. 1–5.

44. A. Benyamina Advanced PLL with multivariable filter and fuzzy logic controller based shunt active power filter/ A. Benyamina, S. Moulahoum, H. Houassine, and N. Kabache: in 2015 20th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR), 2015, pp. 364–369.

45. M. T. Benchouia dSPACE based Adaptive Fuzzy Controller of DC bus voltage for three-phase power filter/ M. T. Benchouia, T. Mahni, A. Golea, K. Srairi, and M. E.-H. Benbouzid, : in 2015 International Conference on Sustainable Mobility Applications, Renewables and Technology (SMART), 2015, pp. 1–5.

46. R. K. Ahuja Control of active and reactive power of grid connected inverter using adaptive network based fuzzy inference system (ANFIS)/ R. K. Ahuja T. Maity, and S. Kakkar: in 2016 IEEE 7th Power India International Conference (PIICON), 2016, pp. 1–5.



47. Fuzzy set [Electronic resource]. ]// Wikipedia : site. — Text and image data. — Available at : — Text and image data. — Available at : [https://en.wikipedia.org/wiki/Fuzzy\\_set](https://en.wikipedia.org/wiki/Fuzzy_set). — Screen name.
48. STMicroelectronics STM32F030x4/6/8/C [www.st.com](http://www.st.com) — Screen name.
49. AMS117 1A LOW DROPOUT VOLTAGE REGULATOR Advanced Monolithic Systems, Inc. [www.advanced-monolithic.com](http://www.advanced-monolithic.com) — Screen name.
50. CL10B104KA8NNNC Multi Layer Ceramic Capacitor (MLCC) Samsung Electro-Mechanics — Screen name.
51. General Multilayer Ceramic Capacitors Samsung Electro-Mechanics — Screen name.
52. VISHAY Solid Tantalum Surface Mount Chip Capacitors TANTAMOUNT®, Molded Case, Standard Industrial Grade [www.vishay.com](http://www.vishay.com) — Screen name.
53. GEYER Electronic QUARTZ CRYSTALS MHz range SMD-version — Screen name.
54. International IOR Rectifier IRLML0030TRPbF [www.irf.com](http://www.irf.com) — Screen name.
55. SHARP PC817X Series DIP 4pin General Purpose Photocoupler — Screen name.
56. OMRON B3F Tactile Switch OMRON Corporation Electronic and Mechanical Components Company Contact: [www.omron.com/ecb](http://www.omron.com/ecb) — Screen name.
57. YAGEO GENERAL PURPOSE CHIP RESISTORS RC0603 5%, 1% — Screen name.
58. Хоровиц П., Хилл У. X80 Искусство схемотехники: В 3-х томах: Т.1. Пер. с англ. - 4-е изд. перераб. и доп. - М.: Мир, 1993. - 413 с., ил.
59. Хоровиц П., Хилл У. X80 Искусство схемотехники: В 3-х томах: Т.2. Пер. с англ. - 4-е изд. перераб. и доп. - М.: Мир, 1993. - 371 с., ил.

60. Хоровиц П., Хилл У. X80 Искусство схемотехники: В 3-х томах: Т.3. Пер. с англ. 4-е изд. перераб. и доп. - М.: Мир, 1993. - 367 с., ил.
61. Бланк, С. Стартап. Настольная книга основателя / С. Бланк, Б. Дорф ; пер. с англ. Т. Гутман, И. Окунькова, Е. Бакушева. – 2-е изд. – Москва : Альпина Паблишер, 2014. – 614 с.
62. Дрейпер, У. Стартапы : профессиональные игры Кремниевой долины / У. Дрейпер ; предисл. Э. Шмидта ; пер. с англ. В. Егорова. – Москва : Эксмо, 2012. – 378 с.
63. Коэн, Д. Стартап в Сети : мастер-классы успешных предпринимателей / Д. Коэн, Б. Фелд ; пер. с англ. М. Иутина. – 2-е изд. – Москва : Альпина Паблишер, 2013. – 337 с.
64. Маллинс, Дж. Поиск бизнес-модели : как спасти стартап, вовремя сменив план / Дж. Маллинс, Р. Комисар ; пер. с англ. М. Пуксант и Е. Бакушевой. – Москва : Манн, Иванов и Фербер, 2012. – 329 с.
65. Робемед, Н. Самые интересные стартапы 2013 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.forbes.ru/svoi-biznes-photogallery/startapy/248976-samye-interesnye-startapy-2013-goda/photo/1>
66. Статистика смертности и советы по безопасности для стартапов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vc.ru/p/startup-eset>
67. Статистика указала на условия для появления стартапов, успешных как Google и Facebook [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://naked-science.ru/article/sci/statistika-ukazala-na-usloviya>
68. Тиль, П. От нуля к единице : как создать стартап, который изменит будущее / П. Тиль, Б. Мастерс; перевод с англ. – Москва : Альпина паблишер, 2015. – 188 с.
69. Харниш, В. Правила прибыльных стартапов : как расти и зарабатывать деньги / В. Харниш ; пер. с англ. В. Хозинского. – Москва : Манн, Иванов и Фербер, 2012. – 279 с.

70. Экланд С. Ангелы, драконы и стервятники : как привлечь правильных инвесторов в свой стартап и сохранить бизнес / С. Экланд ; пер. с англ. О. Терентьевой. – Москва : Манн, Иванов и Фербер, 2011. – 275 с.